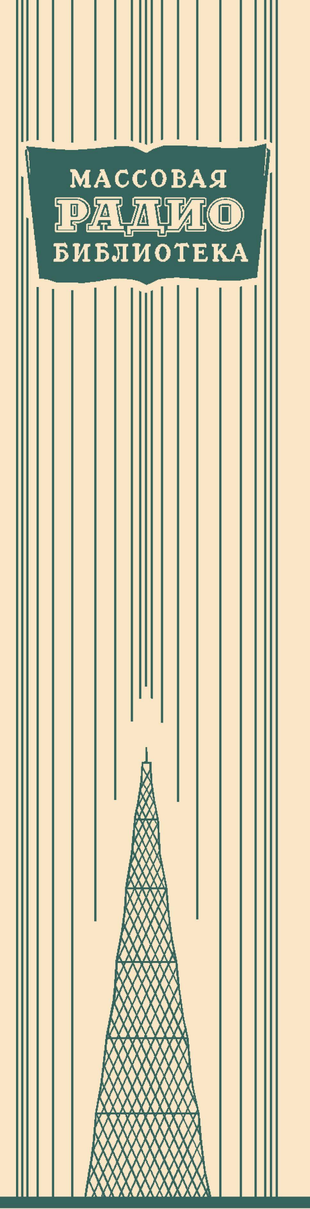


А. М. КУГУШЕВ

СОВРЕМЕННАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА





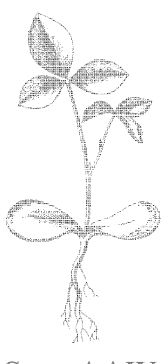
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 300

А. М. КУГУШЕВ

СОВРЕМЕННАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

Очерк современного состояния и последних достижений радиоэлектроники. В доступной для широких кругов читателей форме рассказывается о прогрессе радиоэлектроники в области ультракоротких волн, вакуумных и твердых электронных приборов, достижениях радиосвязи и телевидения, радиолокации и радионавигации, радиоастрономии и радиоспектроскопии. Значительное внимание уделено успехам радиоэлектроники в атомной технике и в промышленности, в области электронной автоматики и вычислительных машин.

Автор — *Кугушев Александр Михайлович*

„СОВРЕМЕННАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА"

Редактор *В. И. Шамшур* Технич. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 10/IV 1958 г. Подписано к печати 10/V 1958 г.
Т-04588. Бумага 84 × 108 1/32. 3,28 печ. л. Уч.-изд. л 3,6.
Тираж 25 000 экз. Цена 1 р. 45 к. Заказ 1177.

Типография Госэнергоиздата, Москва, Шлюзовая наб., 10.

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА
ТРИСТА КНИГ «МАССОВОЙ РАДИОБИБЛИОТЕКИ»

Созданная десять лет назад редакция «Массовой радиобиблиотеки» выпускает свое трехсотое издание.

Триста популярных книг и брошюр по радиотехнике и электронике объемом в 1 625 печатных листов и тиражом около 12 миллионов экземпляров — это значительный вклад в литературу, служащую пропаганде радиотехнических знаний и техническому прогрессу в нашей стране.

Популярность «Массовой радиобиблиотеки» и большой спрос на ее издания неоднократно отмечались в нашей печати.

Редакция «Массовой радиобиблиотеки» стремится знакомить своих читателей с новой техникой, выпуская брошюры научно-познавательного характера о теории связи и информации, кибернетике, применении радиотехники в ускорителях заряженных частиц, радиоспектроскопии и т. д. К числу таких брошюр следует отнести и предлагаемый трехсотый выпуск: «Современная радиоэлектроника» доктора технических наук, профессора А. М. Кугушева, представляющая собой широкий обзор достижений радиоэлектроники.

Наряду с этим ежегодно в «Массовой радиобиблиотеке» издается значительное количество книг по различным отраслям радиолюбительской деятельности.

В текущем году в «Массовой радиобиблиотеке» намечено выпустить 43 книги и брошюры объемом 300 листов и общим тиражом 2 миллиона экземпляров.

Вступая в одиннадцатый год издания «Массовой радиобиблиотеки», редакция приступила к составлению перспективного тематического плана. В него будут включены новые темы и переиздания книг, получивших большую популярность. Участие самих читателей в создании перс-

пективного плана поможет редакции определить наиболее актуальные новые темы и выявить пожелания радиолюбителей по переизданию ранее выпускавшихся книг и брошюр.

Поэтому просим написать нам Ваши предложения к перспективному плану.

Пишите нам, какие книги следует переиздать, предлагайте новые книги для всех категорий читателей, выдвигайте предложения по справочникам и учебникам для радиолюбителей, присылайте отзывы о прочитанных книгах.

Письма просим направлять по адресу: Москва Ж-114, Шлюзовая набережная, 10, Госэнергоиздат, Редакция «Массовой радиобиблиотеки».

„Выдающиеся достижения советских ученых и инженеров, такие события истекших четырех лет, как сооружение первой атомной электростанции, создание реактивных самолетов новейших конструкций и межконтинентальных баллистических ракет, крупнейшие открытия в области электроники, телемеханики, полупроводников и во многих других отраслях науки и техники служат живым свидетельством великой созидательной силы социализма".

Из обращения ЦК КПСС ко всем избирателям, «Правда», 9 февраля 1958 г.

ВВЕДЕНИЕ

Пожалуй, только наши современники, видевшие уровень радиотехники в дореволюционной России, могут более или менее достойно оценить современное развитие радиоэлектроники.

Для количественного сравнения дореволюционного и современного развития радио можно указать на два факта:

— диапазон частот электрических колебаний, технически освоенный в дореволюционной радиотехнике, едва достигал 2—3 *Мгц*; в современной радиотехнике этот диапазон превышает 30 тыс. *Мгц*;

— у дореволюционной радиотехники имелось одно единственное применение — беспроволочный телеграф; современная радиотехника, называемая теперь радиоэлектроникой, имеет бесчисленное множество научных и практических применений.

Научно-техническим содержанием радиоэлектроники при современном ее развитии является изучение и практическое использование электрических колебаний в диапазоне частот от самых низких до весьма высоких (волны длиной в несколько миллиметров).

Технические средства, создаваемые на основе радиоэлектроники, неограниченно расширяют человеческие возможности восприятия окружающего мира и подчинения сил природы интересам улучшения жизни человека. В самом деле, при помощи современных телевизионных трубок человек

может видеть предметы, неразличимые в темноте невооруженным глазом, а при помощи современных электронных микроскопов человек может видеть частицы размерами меньше световой волны. Современная электронная аппаратура позволяет воспринимать такие слабые звуки, как шум цыплят, вылупливающихся из яиц, шум, о существовании которого человек без электроники даже и не мог догадываться. Современная радиоэлектронная аппаратура позволяет человеку воспринимать зрительные и слуховые ощущения на любых расстояниях в пределах земли и на огромнейших расстояниях в космосе. Она также расширяет возможности творческой деятельности человека, направленной на повышение производительности труда, расширение производства материальных благ, предназначенных для удовлетворения непрерывно растущих потребностей социалистического общества.

В результате этого трудно указать такую область в жизни современного человечества, в которой в той или иной мере не использовались бы средства радиоэлектроники.

Радиофикация во всех ее видах; телеграфная и телефонная радиосвязь по всему земному шару; телевидение и фототелеграф; радиолокация и радионавигация; радиогеодезия и радиометеорология; радиоастрономия, исследование Вселенной и радиоспектроскопия — изучение микромира; электронная автоматика и быстродействующие вычислительные машины, облегчающие не только физический, но и умственный труд человека; ускорители атомных частиц и управление ядерными процессами; радиогеология—исследование недр земли и высокочастотный нагрев в технологических процессах; изучение биологических процессов и применение электроники в медицине — вот далеко не полный перечень всего многообразия научных и практических применений современной радиоэлектроники.

Многие современные технологические процессы таковы, что управление ими вовсе неосуществимо без применения радиоэлектронной аппаратуры. Примерами этому являются: получение тепла при ядерной реакции, полет реактивного самолета и т. п.

Особо следует подчеркнуть, что внедрение радиоэлектроники во все отрасли науки и техники идет сейчас быстро нарастающими темпами. Номенклатура радиоэлектронной аппаратуры, применяемой на самолетах и кораблях, за последнее десятилетие возросла в сотни раз. 10—15 лет назад самая сложная радиоэлектронная установка содержала

100—200 радиоламп. В настоящее время имеются радиоэлектронные установки, содержащие по нескольку десятков тысяч электронных приборов — вакуумных и невакуумных диодов и триодов. Самолет-истребитель в 1940 г. имел радиоаппаратуру, содержащую около 20 электронных ламп; на современном истребителе радиоаппаратура содержит свыше 600 ламп, а аппаратура современного бомбардировщика — свыше 1 500 ламп и современного броненосца — более 10 000. Стоимость радиоэлектронного оборудования самолета в 1953 г. почти сравнялась со стоимостью самого самолета.

Наступило время, когда уровень производства радиоэлектронной аппаратуры становится одним из важнейших факторов, определяющих уровень технического развития страны.

Планы народного хозяйства нашей страны строятся на развитии новой техники и новой технологии. При этом ставится задача не только облегчения физического труда, но и новейшая задача — создание и развитие техники, облегчающей умственный, наиболее утомительный труд человека. Радиоэлектронике и радиоэлектронной промышленности принадлежит основная роль в осуществлении этой замечательной задачи. Автоматика с применением средств радиоэлектроники на производстве, на транспорте, в научной и учебной работе являются ключевым решением этой задачи. В связи с этим, а также учитывая исключительно широкое и бурное развитие областей практического применения радиоэлектроники, в текущем пятилетии резко возрастет выпуск продукции нашей радиотехнической промышленности. В настоящее время он занимает третье место, а в конце четвертой пятилетки займет у нас второе место.

К 1960 г. почти в 2 раза возрастет мощность радиовещательных станций. Почти в 10 раз увеличится число телецентров и будет создано более 10 000 *км* радиорелейных линий. Осуществится сплошная радиофикация городских и сельских местностей. Будет организован серийный выпуск электронных вычислительных машин и почти в 5 раз увеличится выпуск счетно-аналитических устройств.

Развитие современной радиоэлектроники можно разделить на три главнейших этапа. Первым является период от изобретения А. С. Попова (1895 г.) до 1918 г. Он отличается использованием длинных радиоволн и единственным практическим применением — беспроволочным телеграфированием. Без электронных ламп дальность радиосвязи огра-

ничивалась сотнями и в лучших случаях тысячами километров.

Второй этап (1918—1940 гг.) характеризуется возникновением электроники, т. е. применением электронных ламп, созданием радиотелефона, организацией радиовещания и освоением коротких радиоволн. Дальность радиосвязи на этом этапе резко возрастает и перекрывает все возможные на Земле расстояния. Бурно развивается радиопромышленность, возникает много новых областей практического применения радио и в том числе звуковое кино. Этот этап развития радио, так же как и следующий, целиком входит в сорокалетний период строительства социализма в нашей стране. Великий гений — Ленин, прозорливо оценив значение радио в жизни человечества, заложил основы обеспечения всестороннего развития радио в нашей стране. Выдающиеся ученые М. А. Бонч-Бруевич, М. В. Шулейкин, Л. И. Мандельштам и др. своими трудами положили начало советской радиоэлектронике, ныне занимающей одно из первых мест в мировой науке и технике.

Современный этап радиоэлектроники характеризуется практическим освоением диапазона ультракоротких волн и импульсной техники, развитием телевидения и возникновением новейших практических применений радиоэлектроники и в том числе электронной автоматики — автоматики высшего типа. Он также характеризуется развитием науки о взаимодействии электронов и радиоволн, развитием физики твердого тела. На основе этих достижений сейчас решаются задачи — генерирования любых, самых коротких радиоволн и создания электронных приборов из полупроводниковых, сверхпроводниковых, магнитных и диэлектрических материалов, способных заменить менее совершенные вакуумные приборы. Дальнейшее развитие этих достижений коренным образом изменит облик современной радиоэлектронной аппаратуры, сделав ее более надежной, долгое время работающей без какого-либо обслуживания, более доступной и совершенно необходимой в жизни современного человека.

УЛЬТРАКОРОТКИЕ ВОЛНЫ И ВАКУУМНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

В настоящее время можно считать, что диапазон ультракоротких волн простирается от 10 *м* до 1 *мм*.

Только на этих волнах можно осуществить передачу информации о быстропротекающих процессах, т. е. осуще-

ствить такие практические применения радиоэлектроники, как телевидение, радиолокация и т. п. Эти волны позволили применить новые методы модуляции — импульсную и частотную, которые перевели радиосвязь на следующую ступень развития как в отношении помехоустойчивости, так и в отношении скорости передачи информации. Освоение и использование диапазона ультракоротких волн есть результат веления жизни, требующей во всех отраслях техники перехода на новые, более высокие параметры.

Ультракороткие волны отличаются от коротких и длинных тем, что они не отражаются (за исключением волн

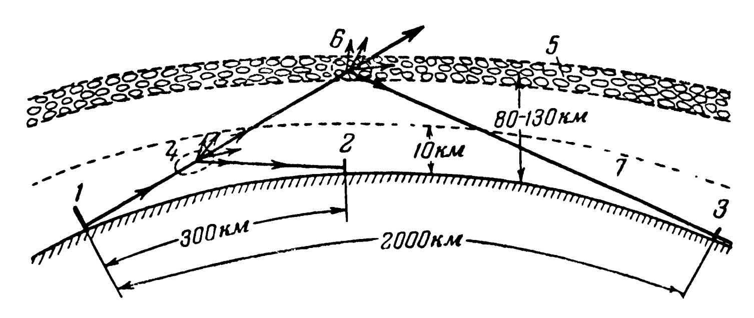


Рис. 1. Распространение ультракоротких волн за горизонт за счет диффузного рассеяния на кучевых неоднородностях в ионосфере и в тропосфере.

1 — точка излучения; *2* — прием сантиметровых и дециметровых волн; *3* — прием метровых волн; *4* — неоднородность в тропосфере; *5* — ионизированный слой *E*; *6* — неоднородность в ионосфере; *7* — тропосфера.

длиннее 5—7 *м*) верхними ионизированными слоями атмосферы и почти не огибают вследствие дифракции выпуклости Земли. По этой причине радиосвязь на ультракоротких волнах вокруг Земли в естественных условиях неосуществима. Но зато только на этих волнах возможна радиосвязь с телами мирового пространства.

В самые последние годы обнаружено диффузное распространение ультракоротких волн далеко за горизонт за счет рассеяния на кучевых (глобальных) неоднородностях атмосферы — явление, которое можно назвать «радиозаревом»: оно подобно видимому зареву, обусловленному рассеянием световых лучей облаками. В тропосфере происходит рассеяние метровых, короче 3-х *м*, дециметровых и сантиметровых радиоволн (100—10 000 *Мгц*), а в ионосфере — метровых (20—60 *Мгц*). Неоднородности в тропосфере создаются неравномерностью движения потоков воздуха с различной

температурой и влажностью. Неоднородности кучевого (не слоистого) характера в ионосфере со сравнительно большой плотностью ионизации создаются главным образом при пролете метеоров, полярным сиянием и другими процессами. При влёте метеора в земную атмосферу со скоростью от 10 до 70 *км/сек* вследствие сильного нагревания образуется ионизированный столб воздуха, воспринимаемый в виде метеорного следа и отражающий радиоволны вышеуказанного диапазона.

Опытами уже установлено, что диффузное распространение укв, а также отражение метровых волн диапазона частот от 40 до 80 *Мгц* от метеорных следов может быть использовано для осуществления сверхдальней радиосвязи с применением мощных передатчиков, высокочувствительных приемников и антенн с высокой направленностью. Таким образом, с диапазоном ультракоротких волн повторяется та же история, что и с диапазоном коротких. До 30-х годов считалось, что короткие волны непригодны для осуществления дальней радиосвязи, хотя, как известно, позднее коротковолновый диапазон стал основным в осуществлении дальней радиосвязи.

Канализация токов сверхвысокой частоты встречает большие затруднения, обусловленные паразитным излучением, поверхностным эффектом тока и частичным отражением энергии нагрузкой в случае линии, длина которой больше или сравнима с длиной волны. Правда, эти затруднения в известной мере преодолеваются применением коаксиального кабеля и волноводов в конструкциях линий передачи. Такие затруднения особенно возрастают на миллиметровых волнах, т. е. при частотах свыше 30 000 *Мгц*. Для иллюстрации можно указать, что к. п. д. проводникового (медного) волновода длиной 20 *м* при волне 5 *мм* равен всего лишь 0,01%. В настоящее время ведутся разработки других конструкций в виде: однопроводной линии, полосковой линии, диэлектрического волновода и т. д.

Особенно перспективной конструкцией является спиральный волновод, представляющий собой плотно намотанную цилиндрическую спираль из медной изолированной проволоки. В таком волноводе может поддерживаться волна типа H_{01}, при которой в волноводе нет продольных токов и потери в меди с увеличением частоты уменьшаются. Уже созданы образцы спиральных волноводов для частот 10—60 тыс. *Мгц*, у которых затухание примерно в 10 раз меньше, чем у обычного прямоугольного волновода, что соот-

ветствует повышению к. п. д. в предыдущем примере до 30%.

Весьма большие успехи имеет современная техника ультракоротковолновых антенн как направленного, так и ненаправленного действия. Коэффициент полезного действия таких антенн значительно выше, чем у длинноволновых антенн. В настоящее время созданы укв антенны направленного действия, имеющие ширину радиолуча менее одного градуса, благодаря чему точность измерения угловых ко-

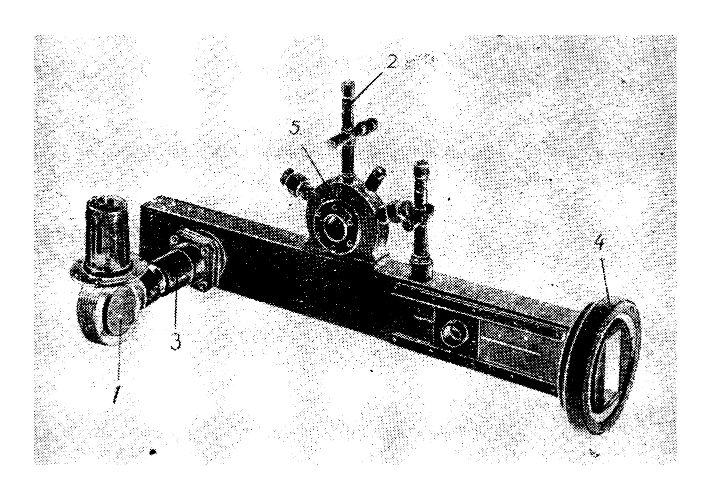


Рис. 2. Волноводный фидер импульсного радиолокатора $\lambda = 10$ *см*.

1 — магнетрон; *2* — к приемнику; *3* — коаксиальный фидер; *4* — волноводный фланец к антенне; *5* — переключатель прием-передача.

ординат на укв становится сравнимой с точностью оптических измерений. В современных специальных антеннах применяется быстрое качание радиолуча с частотой 10 и более раз в секунду. Достигнуты большие успехи в области создания широкополосных и «утопленных» самолетных антенн (дифракционные, диэлектрические, поверхностные, линзовые и др.).

В радиолокации применяются надувные параболические антенные зеркала с жесткой фермой диаметром в несколько метров. С той же целью повышения транспортабельности разрабатываются системы, в которых антенной служит сильно ионизированный рентгеновскими лучами или радиоактивными элементами столб воздуха. Широкое распростра-

нение получают малогабаритные ферритовые антенны в приемниках.

Применяемый для приемной антенны длинных волн феррит обычно представляет собой стержень диаметром 1—2 *см*, длиной 20—30 *см*, на который в один или два слоя навита обмотка. Таким образом, получается малогабаритная приемная рамка с ферритовым сердечником, магнитная и диэлектрическая проницаемости которой значительно

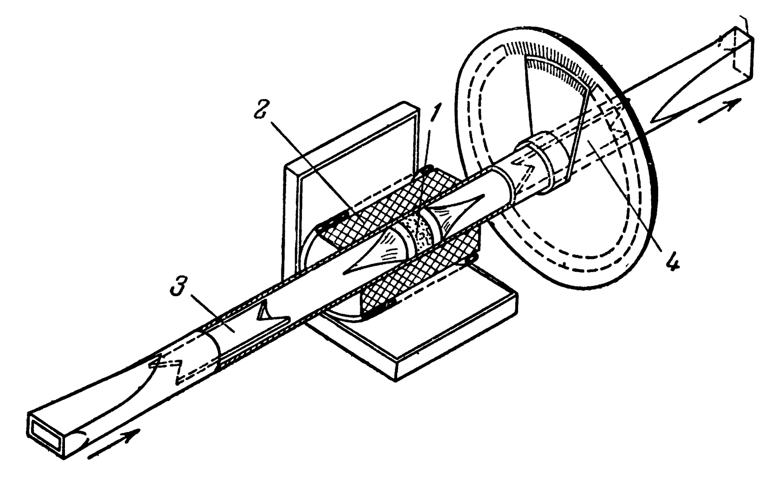


Рис. 3. Схема ферритового выключателя. Электромагнитная энергия может распространяться лишь при подаче постоянного тока в соленоид.

1 — феррит; *2* — обмотка соленоида; *3* — пластина для поглощения горизонтально-поляризованной волны; *4* — пластина для поглощения вертикально-поляризованной волны.

больше, чем у воздуха, вследствие чего такая рамка по приему электромагнитной энергии эквивалентна простой рамке больших геометрических размеров. В диапазоне сантиметровых волн ферритовые антенны состоят из ферритовых стержней, излучающих энергию вдоль своей оси. Применяя подмагничивание стержней переменным током, можно обеспечить качание радиолуча в пространстве с частотой в несколько сот тысяч раз в секунду.

В диапазоне ультракоротких волн в большой степени проявляется эффект вращения плоскости поляризации при намагничивании ферромагнитных тел, через которые проходит электромагнитная волна. Используя это явление, в настоящее время осуществляются схемы и конструкции практически безынерционных ферритовых переключателей для

цепей ультравысокой частоты. Простейшим примером такого устройства является отрезок волновода, заполненный на небольшой длине ферритом (магнетодиэлектриком в виде спрессованного порошка из окислов железа и других металлов). На участок волновода надевают катушку; при достаточной величине постоянного тока в катушке плоскость поляризации электромагнитной волны, распространяющейся в прямоугольном волноводе, повернется на 90° и волна дальше может распространяться только при повернутом конце волновода. Другим примером является устройство, пропускающее электромагнитную энергию только в одном направлении. Такое устройство состоит из отрезка волновода с ферритовой пластинкой, расположенной асимметрично и намагниченной полем, перпендикулярным оси волновода.

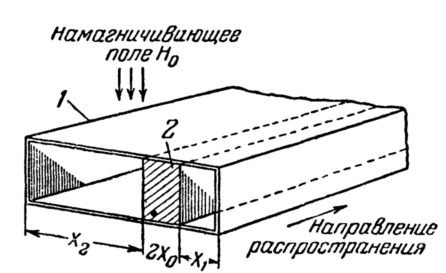


Рис. 4. Схема ферритового вентиля. При намагничивании постоянным полем H_0 электрмагнитная энергия может распространяться только в одном направлении.

1 — волновод; 2 — ферритовый брусок.

Следует подчеркнуть, что применение в цепях свч ферритовых элементов, обладающих вентильным действием для потока электромагнитной энергии, по существу, есть практическое использование новых, принципиально отличных электрических цепей, не подчиняющихся принципу взаимности. Без сомнения, это новый этап в развитии теории и практики электрических цепей, исключительно богатый важными практическими применениями.

При генерировании колебаний свч при помощи триодов возникают технические затруднения, вызываемые инерцией электронов, а также индуктивностью и емкостью электродов. В связи с этим в настоящее время разработаны специальные конструкции свч триодов. Примером такой конструкции является штабельная металлокерамическая лампа, которую можно монтировать в схему как простую радиодеталь. Миниатюрный триод такой конструкции диаметром 8 *мм* и высотой 10 *мм* может работать в качестве усилителя на частоте 1 000 *Мгц* с большим коэффициентом усиления и даже при температуре до 700° С.

Можно считать, что создание подобной конструкции лампы в некоторой степени является результатом конкуренции с полупроводниковыми триодами. Результатом этой конкуренции является и создание «безнакальных» керамических электронных ламп. Оксидный катод такой лампы дает необходимую эмиссию за счет общего нагрева всей лампы до 500—700° С. Все другие электроды такой лампы во избежание электронной эмиссии из них делаются из чистого тантала, что способствует одновременно поглощению газов, выделяющихся в вакууме при высоких температурах. Такие лампы могут работать и без источника сеточного смещения благодаря положительной контактной разности потенциалов между катодом и сеткой. Все это дает около 80% экономии энергии по сравнению с обычными электронными лампами. Можно сказать, что эра стекла для электронных ламп сменяется эрой керамики, резко повышающей надежность и долговечность вакуумного электронного прибора.

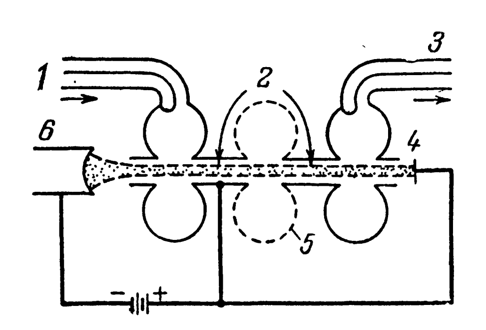


Рис. 5. Схема мощного многорезонаторного клистрона.

1 — вход; *2* — пространство дрейфа; *3* — выход; *4* — коллектор; *5* — промежуточный резонатор; *6* — катод.

Для генерирования мощных колебаний на дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волнах в настоящее время созданы и совершенствуются новые типы электровакуумных приборов: резнатроны, клистроны и магнетроны с фиксированной и перестраиваемой волной.

Весьма ярким примером успехов в этой области служат трехрезонаторный клистрон и мощный широкополосный генератор с независимым возбуждением магнетронного типа.

В отличие от двухрезонаторного клистрона, состоящего из входного и выходного резонаторов, новый клистрон имеет третий промежуточный резонатор, находящийся между входным и выходным резонаторами; кроме того, применяется магнитная или электростатическая фокусировка электронного пучка клистрона. Промежуточный резонатор, имеющий высокую добротность, повышает к. п. д. и коэффициент усиления, чему способствует также фокусировка электронного

пучка. Это объясняется тем, что электронный пучок, даже слабо модулированный по плотности, возбуждает в промежуточном ненагруженном резонаторе высокочастотное напряжение с большой амплитудой, которое, в свою очередь, увеличивает модуляцию электронного пучка. Созданы многорезонаторные клистроны-генераторы с независимым возбуждением, с выходной мощностью в несколько десятков киловатт в дециметровом диапазоне, имеющие к. п. д. около 50% и коэффициент усиления порядка 1 000 и более. Столь

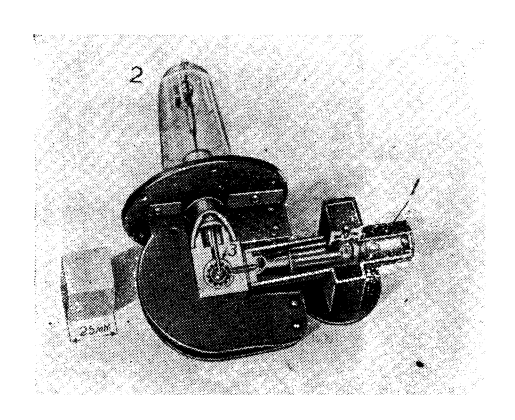


Рис. 6. Магнетрон-генератор с самовозбуждением. Импульсная мощность — 60 *квт*, $\lambda = 3$ *см*.

1 — вывод СВЧ энергии; *2* — ввод накала; *3* — резонаторная система (частичный разрез).

высокую эффективность при помощи обычных тетродов не удается получить даже в диапазоне длинных волн. В настоящее время разработан импульсный клистрон такого типа на мощность более 20 000 *квт* (при средней мощности 50 *квт*).

Недостатком трехрезонаторного клистрона как усилителя мощности является его узкополосность. Этого недостатка не имеет генератор-усилитель магнетронного типа, который способен усиливать колебания в широкой полосе частот в пределах 10% и более, при неизменном режиме электропитания и постоянстве магнитного поля, правда, с меньшим коэффициентом усиления, чем клистрон. Создание широкополосного усилителя сверхвысокой частоты, т. е. усилителя с неперестраиваемым выходным контуром, облегчается тем, что при сверхвысокой частоте широкополосный контур,

являющийся, по существу, полосовым фильтром, оказывается сравнительно малогабаритной конструкцией. При коротких волнах и, тем более, при длинных волнах такой контур оказывается весьма громоздким, в силу чего на практике при коротких и длинных волнах приходится применять механически или в лучшем случае электрически перестраиваемые контуры. В настоящее время уже созданы дециметровые широкополосные усилители магнетронного типа с импульсной мощностью порядка 1 000 *квт*, к. п. д. ~50%

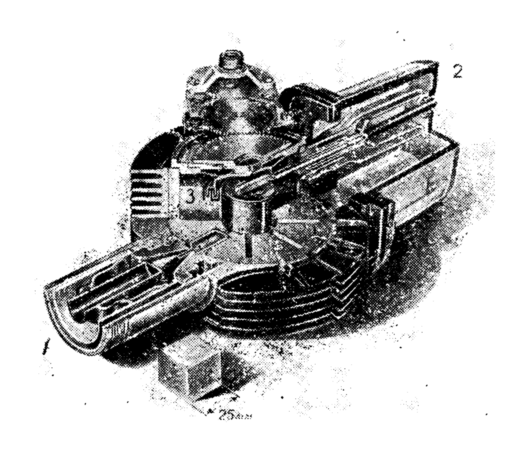


Рис. 7. Магнетрон-генератор с самовозбуждением, перестраиваемый по волне в пределах ($\lambda = 10$ *см*) $\pm 5\%$, мощность в импульсе около 300 *квт*.

1 — вывод энергии; 2 — ввод накала; 3 — перестраиваемая резонаторная система (частичный разрез).

и с коэффициентом усиления 10 в полосе частот $\pm 5\%$. Следует отметить, что такая относительная величина полосы частот на первый взгляд кажется небольшой. Однако на свч порядка 1 000 *Мгц* абсолютная величина полосы частот при $\pm 5\%$ оказывается очень большой (100 *Мгц*), а в такой полосе может одновременно работать без взаимных помех не менее 10 телевизионных передатчиков, не менее 20 радиолокаторов и много сотен радиовещательных станций.

Многорезонаторные клистроны и широкополосные генераторы-усилители магнетронного типа имеют исключительно большое значение для осуществления мощных передатчиков с независимым возбуждением, предназначенных для сверх-

дальней радиосвязи на укв, а также для многих других важных практических применений.

Для генерирования и усиления свч, соответствующих волнам 300—10 *мм* и короче, разработаны и совершенствуются новые электровакуумные приборы — ЛБВ (лампа бегущей волны), ЛОВ (лампа обратной волны) и ЭВЛ (электронно-волновая лампа). В них взаимодействие пото-

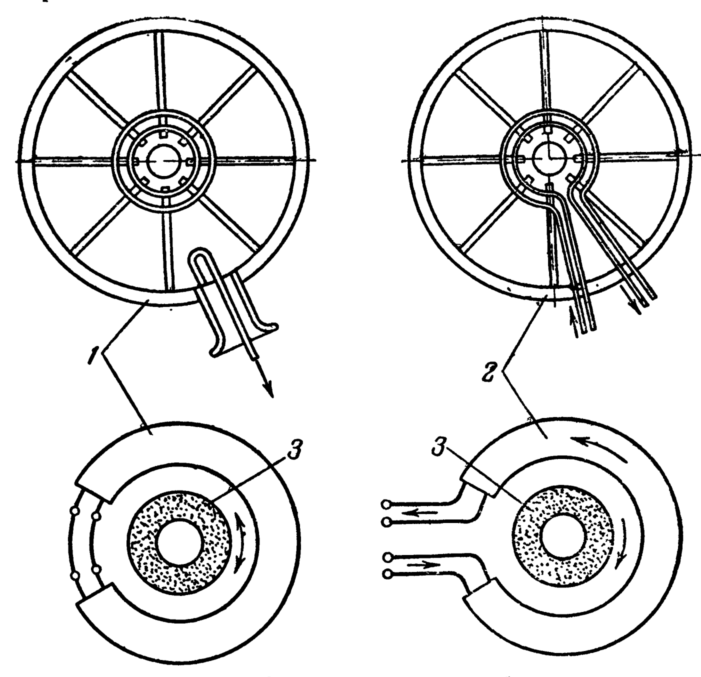


Рис. 8. Схемы конструкций.
1 — магнетрона с самовозбуждением; 2 — усилителя магнетронного типа; 3 — электронное облако.

ка электронов с электромагнитным полем происходит на большой длине, вследствие чего коэффициент усиления такой лампы значительно больше, чем у триода или пентода, работающих к тому же только на более низких частотах. В настоящее время имеются усилители свч на ЛБВ и ЭВЛ с коэффициентом усиления порядка 100 для повышения чувствительности приемников и с коэффициентом усиления порядка 100 000 для приемно-передающих устройств радиорелейных линий. Эти лампы имеют также весьма ценное свойство: они не пропускают сильный сигнал. Замечатель-

ным свойством их является широкая диапазонность и практически безынерционная перестройка в пределах почти целой октавы путем изменения анодного напряжения (так называемая электронная перестройка).

Генератором свч с электронной перестройкой в широких пределах является лампа обратной волны (ЛОВ), в которой в отличие от ЛБВ взаимодействие электронного пучка происходит с отраженной волной, т. е. волной, двигающейся навстречу электронному пучку. Примером ЛОВ является корцинотрон, в котором резонаторной системой служит ребристая поверхность, вдоль которой движется электронный пучок. Изменением анодного напряжения можно менять

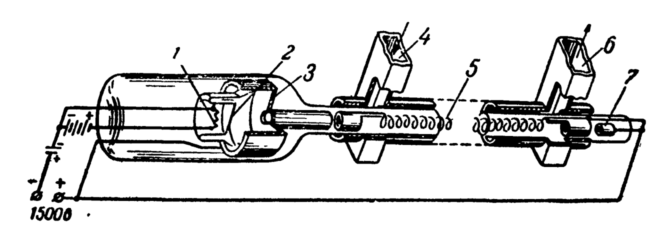


Рис. 9. Лампа бегущей волны (ЛБВ)—усилитель колебаний сверхвысокой частоты.

1 — подогреватель; *2* — катод; *3* — анод; *4* — вход; *5* — спираль; *6* — выход; *7* — коллектор.

частоту, например, от 1 600 до 2 400 *Мгц* при мощности в несколько сот ватт и к. п. д. порядка 30%. Такой генератор свч очень ценен для устройств с быстрой сменой рабочей волны.

В ЭВЛ применяются полые электронные пучки; формирование таких пучков, а также буквоизображающих пучков и пучков, поворачиваемых на 180°, служит доказательством больших достижений современной электронной оптики. К достижениям ее относится также успешное создание экономичных катодов с большой плотностью эмиссии, доходящей до нескольких ампер с квадратного сантиметра нагретой поверхности.

Успехи создания электронных приборов для генерирования и усиления свч позволяют строить радиопередачи свч на любую практически требующуюся мощность и приемники укв, позволяющие принимать сигналы с потоком мощности порядка 10^{-20} *вт/см*^{2}, т. е. с потоком, равным приблизительно свету лампочки карманного фонаря, удаленного на расстояние порядка 10^6 *км*.

Следует отметить, что причиной, ограничивающей создание сверхмощных передатчиков укв, является недостаточность электрической прочности воздуха около отверстия облучателя антенны. Повышение же чувствительности приемника укв ограничивается пока собственными шумами; однако, как указано далее, видимо, в ближайшее время ограничивать эту чувствительность будут только внешние шумы, определяемые средней температурой мирового пространства.

ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Несмотря на успехи в совершенствовании электронных вакуумных приборов, современные требования к радиоэлектронной аппаратуре требуют замены вакуумного электронного прибора приборами из твердого тела. В ближайшие годы маломощные вакуумные электронные приборы будут почти полностью вытеснены полупроводниковыми, сверхпроводниковыми и другими электронными приборами из твердого тела.

Малую потребляемую мощность, высокий к. п. д. и небольшие размеры электронных полупроводниковых приборов можно иллюстрировать многими примерами. К числу их относятся приемники для приема передач дальних радиостанций, питаемые энергией излучения местных радиостанций, сверхминиатюрный радиопередатчик, который для медикодиагностических целей может проглатываться человеком; карманная телевизионная камера на полупроводниковых электронных приборах, потребляющая всего лишь 50 *вт*; телефонный коммутатор, в котором электронные переключатели на полупроводниковых триодах производят соединения почти в 1 000 раз быстрее системы электромеханических реле.

В установках большой мощности полупроводниковые диоды вытеснят ртутные, кенотронные и другие вакуумные выпрямители. При 600 *в* обратный ток в германиевом диоде не больше, чем в ртутном выпрямителе, а падение напряжения при прямом токе менее 1 *в*, тогда как в ртутном выпрямителе оно достигает 12—15 *в* и более. Допустимая плотность тока в германиевом диоде — несколько десятков ампер на квадратный сантиметр, т. е. больше, чем у самого совершенного катода. Мощный германиевый выпрямитель на 200 *а* и 100 *в* состоит из пластин диаметром ~40 *мм* и толщиной около 3 *мм*; два кремниевых диода размером

с горошину дают выпрямленный ток 20 *а* при 100 *в* и при к. п. д. почти 99 %, работая при температурах от 0 до 200° С. Интересно отметить, что, несмотря на высокий к. п. д., малый размер таких выпрямителей усложняет задачи отвода тепла при выпрямлении настолько, что эта особенность может стать недостатком полупроводниковых выпрямителей. Тем не менее богаты перспективы их применения в промышленности и на транспорте, при создании бес-

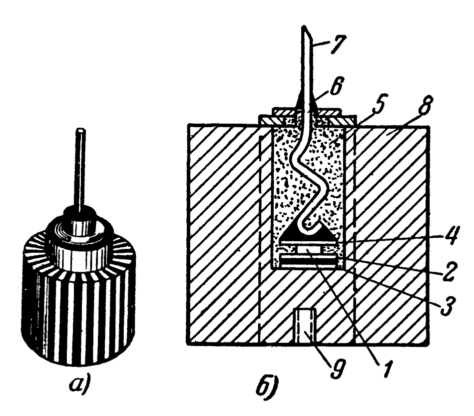


Рис. 10. Кремниевый выпрямитель 24 *а*, 50 *в*.
а — внешний вид; *б* — разрез; *1* — алюминиевая пластина; *2* — кремниевый кристалл; *3* — катодный ввод; *4* — анодный контакт; *5* — керамический наполнитель; *6* — впай металла в стекло; *7* — медный анодный ввод; *8*—медный радиатор; *9* — монтажное гнездо.

коллекторных электромашин постоянного тока и выпрямителей как высоковольтных на сотни киловольт, так и низковольтных на сотни тысяч ампер.

Особо следует подчеркнуть перспективность создания полупроводниковых усилителей с собственным источником питания в виде современных дешевых радиоактивных материалов. Техника полупроводниковых приборов достигла сейчас такого уровня, когда становится возможным создание полупроводниковых приборов, объединяющих в себе функции: триодов, выпрямителей, конденсаторов и источников питания. Иначе говоря, кусок твердого тела можно превратить в усилитель, не требующий источников питания.

В полупроводниках в сотни миллионов раз сильнее проявляется эффект Холла (возникновение э. д. с. в направлении, перпендикулярном к линиям тока при поперечном намагничивании). Это явление может быть использовано для

создания вентильных элементов постоянного тока, аналогичных ферритным вентилям свч, и различных преобразователей (датчиков).

В настоящее время еще не созданы практически пригодные полупроводниковые триоды для генерирования и усиления свч в диапазоне свыше 100 *Мгц*. Однако в результате ведущихся в этой области работ уже имеются экспериментальные образцы полупроводниковых маломощных генераторов-усилителей для частоты до 3 000 и даже 10 000 *Мгц*. Кроме того, следует отметить также успехи создания нового типа твердого генератора-усилителя этого же диапазона — молекулярного генератора, в котором происходит взаимодействие электромагнитного поля с внутренней энергией молекул, тогда как в вакуумном и полупроводниковом приборе это взаимодействие происходит с энергией свободных электронов. Молекулярный твердый генератор-усилитель состоит из кристалла парамагнитного вещества, помещенного внутрь резонатора свч, расположенного в постоянном магнитном поле. Такой прибор работает при охлаждении до температуры жидкого гелия, вследствие чего он обладает очень малым уровнем собственных шумов; работая в качестве предварительного усилителя, он может повысить в тысячу раз чувствительность радиолокационного приемника трехсантиметрового диапазона; при этом легко осуществляется перестройка частоты в достаточно широких пределах путем изменения напряженности постоянного магнитного поля.

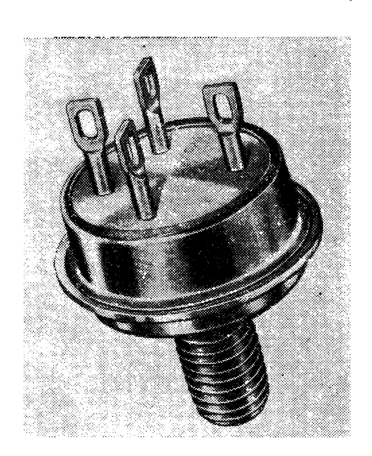


Рис. 11. Германиевый тетрод 10 *а*, 28 *в*.

В связи с развитием техники сверхнизких температур в настоящее время разрабатываются и уже находят практическое применение сверхпроводниковые приборы, способные выполнять в радиоэлектронных схемах многие функции полупроводниковых триодов и вакуумных приборов свч. В частности, сверхпроводниковый прибор — криотрон — состоит из отрезка танталовой проволоки, находящейся при

температуре около —240° С, сверхпроводимость которой может уничтожаться магнитным полем, возникающим при пропускании слабого тока в тонкой обмотке из ниобия, окружающей отрезок танталовой проволоки, вследствие чего прекращается сильный ток в цепи, в которую включен сверхпроводник.

Сейчас еще не ясны перспективы создания электронных полупроводниковых и других приборов из твердого тела для генерирования и усиления мощных колебаний всего диапазона радиочастот, включая и область свч. Для осуществления таких приборов надо еще разработать необходимые материалы, рациональные конструкции и преодолеть технологические трудности. Не найдено еще путей создания твердых электронных приборов, могущих заменить вакуумные электронно-лучевые трубки. Однако современное развитие физики твердого тела позволяет предполагать, что в ближайшем будущем будут решены и эти задачи.

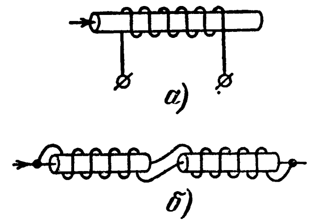


Рис. 12. Сверхпроводниковый электронный прибор.
а — схема криотрона; *б* — схема бистабильного элемента из двух криотронов.

В настоящее время достигнуты большие успехи в области создания нелинейных магнитных и диэлектрических материалов, позволяющие создавать мощные безламповые усилители низкой, высокой и ультравысокой частот. Замечательным достижением в этой области является создание магнитно-диэлектрического материала — феррита, о применении которого уже упоминалось выше. Этот материал, обладая ферромагнитными свойствами, является, однако, непроводником. По этой причине в нем отсутствуют потери на вихревые токи, возникающие при переменных полях, ограничивающие применение обычных ферромагнитных сердечников в цепях высокой и сверхвысокой частоты. В настоящее время созданы и применяются три типа ферритов: 1) для перестройки цепей высокой и ультравысокой частоты путем изменения намагничивания ферритных сердечников, помещаемых в катушки или в резонаторы; 2) для переключателей и вентильных цепей; 3) с прямоугольной петлей гистерезиса для запоминающих устройств электронных вычислительных машин.

Другим замечательным достижением в этой области является разработка ферроэлектрика — диэлектрического

материала. Конденсатор, диэлектриком в котором служит ферроэлектрик, способен сохранять остаточный заряд без изменения, если даже его пластины будут замкнуты накоротко.

При изменении знака прикладываемого напряжения остаточный заряд образует прямоугольную петлю гистерезиса. Конденсаторы с ферроэлектриком могут также использоваться в запоминающих устройствах электронных вычислительных машин.

Примером, иллюстрирующим успехи в области создания новых весьма совершенных магнитных материалов, является возможность осуществления теперь проволочного телефона вовсе без источника питания с дальностью до 50 *км*. В такой системе звуковые колебания превращаются в переменный ток звуковой частоты магнитным микрофоном в виде телефонной трубки.

Задача повышения надежности действия радиоэлектронной аппаратуры в настоящее время приобрела исключительно большое значение. Это объясняется широким применением радиоэлектронной аппаратуры в самых различных областях. Важнейшей проблемой в области конструирования радиоэлектронной аппаратуры в настоящее время является также проблема миниатюризации ее, связанная с предыдущей. Для повышения надежности действия и миниатюризации аппаратуры необходимы не только замена вакуумных электронных приборов невакуумными, но и совершенствование радиодеталей. В последние годы в этом направлении имеются большие достижения. Печатные схемы и новые радиоматериалы позволяют создавать весьма надежно действующую и малогабаритную электронную аппаратуру, детали которой — сопротивления, конденсаторы, трансформаторы и т. п. — могут работать даже при температуре 600—800° С, т. е. в пламени печи. Важной задачей является создание «радиопрозрачных» материалов для обтекателей антенн самолетных радиолокаторов и для носовых частей ракет — материалов, обладающих температурной стойкостью свыше 1 000° С.

Следует также подчеркнуть большие успехи теории электрических цепей, особенно теории генерирования, усиления и преобразования импульсных колебаний. В связи с практическим использованием сверхкоротких миллимикросекундных импульсов, разработаны новые методы анализа прохождения импульсов в линейных и нелинейных цепях и соответствующие схемы генерирования несинусоидальных

колебаний. Надо также отметить бурное развитие новой области теории связи — теории информации, позволяющей совершенствовать передачу различных сигналов.

РАДИОСВЯЗЬ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Говоря о современной радиосвязи, следует прежде всего отметить успехи сверхскоростного радиотелеграфирования. Используя специальную электронно-лучевую трубку, можно передавать до 100 000 слов в минуту. Работа такой трубки подобна процессу типографского набора — она преобразует кодированные сигналы, поступающие, например, с ленты магнитной записи, в резко очерченные буквы и цифры на своем экране.

Применяя полупроводниковые электронные приборы, печатные схемы и ферритовые антенны, можно создавать радиовещательные приемники, которые могут легко размещаться в кармане или даже в головном уборе.

В качестве иллюстрации прогресса, вносимого в аппаратуру радиосвязи полупроводниковыми приборами, следует указать на успешные опыты создания радиотелефонного передатчика без отдельного источника питания; часть энергии человеческого голоса в этом случае используется для питания генераторного триода. Такой радиопередатчик позволяет осуществить радиосвязь на расстоянии порядка 1 *км*. В связи с этим следует отметить перспективность индивидуальной микрорадиосвязи, могущей заменить в известной степени проволочную городскую и сельскую телефонную связь.

Здесь уместно и полезно указать на преимущество радиосвязи по сравнению с непосредственной акустической связью. Акустическая связь происходит только на одной полосе частот порядка 3 000 *гц* и, строго говоря, одновременные переговоры в одном месте между многими парами людей поэтому без взаимных помех неосуществимы. В радиосвязи, использующей в качестве несущей частоты колебания свч, может вести одновременные переговоры весьма большое число людей. Например, на несущей частоте 300 *Мгц*, соответствующей волне в 1 *м*, можно осуществить около 20 000 одновременных радиотелефонных переговоров без взаимных помех. Очевидно, такая радиотелефонная связь имеет большое практическое значение на массовых сборах, на стадионах и т. д. Здесь большое поле творчества для радиолюбителей.

Можно утверждать, что в ближайшее время районная и служебная радиосвязь на укв приобретет самое широкое распространение, вытеснив коротковолновую радиосвязь и проволочную связь, которые уступают связи на укв как в отношении портативности аппаратуры, так и в отношении простоты эксплуатации.

Дальняя радиосвязь на укв имеет исключительно богатые перспективы. Техническими средствами ее являются: радиорелейные линии с промежуточными приемно-передающими станциями, монтируемыми на мачтах высотой 50—60 *м*, размещаемых на расстояниях 60—100 *км* (что обеспечивает прямую видимость между соседними станциями), а также мощные передающие и приемные станции, использующие диффузное распространение укв и обладающие дальностью действия до 2 000 *км*. Преимуществами дальней радиосвязи на укв являются: надежность действия в любое время суток и года, большая помехоустойчивость, большая широкополосность, обеспечивающая не только телефонную связь по многим каналам, но и несколько телевизионных передач. Комбинированная система из радиорелейных линий и линий, использующих диффузное распространение, в недалеком будущем, вероятно, станет основным средством связи, а коротким и длинным волнам будет отведена вспомогательная роль. Стоимость радиорелейных линий при числе каналов более 60 почти в 2 раза меньше стоимости кабельной линии. Надежность действия радиосвязи за счет диффузного распространения, особенно в тропосфере, достигает 99,9% (время, в течение которого отношение $\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} \geqslant 1$). В системе связи за счет диффузного распространения в ионосфере применяются: передатчики с мощностью 20—50 *квт*, прием на две разнесенные антенны, антенны из горизонтальных вибраторов с уголковым отражателем, создающим направленное излучение в угле $\sim 17°$.

При мощности передатчика ~ 1 *квт* и антенне с небольшой направленностью $\sim 60°$ на метровых волнах осуществляется также радиосвязь за счет отражения от ионизированных следов метеоров, существующих от миллисекунд до нескольких секунд. Длина следа (обычно около 10 *км*) обеспечивает дальность такой радиосвязи до 2 000 *км*. Депеши предварительно записываются на магнитную ленту и автоматически передаются с весьма большой скоростью (несколько тысяч слов в минуту) во время возникновения метеорного следа. Так как ежечасно возникают сотни

метеоров, такая радиосвязь оказывается весьма производительной. При весьма малой длительности следа передача соответствующей части депеши автоматически повторяется.

При использовании диффузного распространения в тропосфере применяются клистронные передатчики мощностью 1—10 *квт* с ЧМ. Антеннами служат параболические отражатели диаметром до 20 *м*. Здесь применяется разнесенный прием; при этом дальность связи достигает 600 *км*. Интересно подчеркнуть, что дальность прямой связи на укв при тех же технических средствах достигает порядка одного миллиарда километров, т. е. распространяется почти за пределы Солнечной системы; обмен депешами при таком расстоянии займет почти целый рабочий день.

Использование диффузного распространения дециметровых волн позволяет увеличить дальность радиосвязи самолет—земля. Так, например, при наземном передатчике в 10 *квт* с сильно направленной антенной и при самолетном передатчике в 0,5 *квт* с антенной, имеющей сравнительно широкий радиолуч (около 10°), при высоте полета 5 000 *м* можно осуществлять радиосвязь на расстоянии около 700 *км*. Дальность прямой видимости (дальность горизонта) при высоте 5 000 *м*, как известно, не превосходит 300 *км*.

В диапазоне укв можно осуществлять радиосвязь за счет распространения электромагнитной энергии в толще снежного покрова. При толщине слоя снега 10 *м* на волнах, соответствующих частотам 10÷10 000 *Мгц*, можно осуществлять радиосвязь на дистанции в 2 раза больше, чем за счет поверхностной волны у замерзшей земли; такая связь совершенно свободна от ионосферных помех.

Велики успехи современного телевидения. Высокочувствительные передающие трубки типа ортикон и суперортикон позволяют вести передачи из студий без специального усиленного освещения и осуществлять внестудийные телепередачи при обычном освещении. Другие, более высокочувствительные передающие трубки типа «видикон» и «эбикон», в которых используется изменение проводимости полупроводниковой мишени, позволяют осуществлять телевизионные передачи даже при слабом лунном освещении. Создана электронно-лучевая трубка, совмещенная с лампой бегущей волны и выполняющая функции приемника сантиметрового диапазона. Такая трубка подключается непосредственно к антенне и имеет весьма высокую чувствительность при сравнительно малом уровне собственных шумов.

Разработаны электронно-лучевые трубки темновой запи-

си (скиатроны), которые отличаются от электронно-лучевых трубок с яркостной записью тем, что возбужденная часть экрана трубок темновой записи поглощает, а не излучает свет. Поэтому такие трубки дают изображение, которое при дневном свете напоминает печать на белой бумаге. Трубки этого типа являются хорошими интегрирующими приборами с широким диапазоном полутонов: они могут сохранять записанную информацию в течение длительных периодов времени (месяцев и даже лет).

В ближайшие годы цветное телевидение прочно войдет в быт и для промышленного применения. В настоящее время совершенствуются конструкции и технология цветной приемной трубки. В частности, создана приемная трубка с экраном, состоящим из чередующихся вертикальных полосок люминофоров трех основных цветов; такая трубка проще в изготовлении, чем трубка с экраном из регулярно расположенных зерен люминофоров основных цветов. Следует отметить также успехи в создании широкоугольной приемной трубки и трубки плоской конструкции, в которой электронный пучок перемещается параллельно экрану. Такие трубки позволят резко сократить габариты телевизоров.

Кроме того, в настоящее время намечаются пути создания плоского телевизионного экрана в виде диэлектрической пластины, покрытой слоем люминофора, способного светиться в электрическом поле. Если слой такого люминофора поместить между тонкими параллельными проводниками, расположенными горизонтально с одной стороны и вертикально с другой стороны пластинки, то светящаяся точка на ней возникает в месте пересечения двух проволочек, к которым в данный момент подается видеоимпульс с выхода телевизионного приемника. Замена таким устройством вакуумной телевизионной трубки современного типа, разумеется, резко упростит создание малогабаритного телевизора с большим экраном.

В связи с успехами использования для дальней радиосвязи диффузного распространения укв, а также в связи с развитием строительства радиорелейных линий в скором времени начнется обмен телевизионными передачами в международном масштабе. Это, очевидно, будет в еще большей мере содействовать развитию культурных связей и укреплению дружбы между народами различных стран. Кроме того, в связи с созданием искусственных спутников Земли в последнее время обсуждаются планы создания ретрансляции телевизионного вещания по всему земному шару.

Помимо культурного применения, телевидение теперь находит весьма широкое применение в промышленности, атомной технике, при подводных работах, в военной аппаратуре и т. п. На производстве телевизионная аппаратура может применяться как более полноценный способ оперативной связи между цехами, для показа (обучения) образцовых производственных процессов, цветное — для показа хирургических операций при обучении студентов и т. п. В настоящее время уже создано много образцов промышленной телевизионной аппаратуры и другого специального назначения. В частности, современное развитие телевизионной техники позволяет установить телепередатчик на управляемом реактивном самолете для обнаружения атакующих самолетов или ракет и ретрансляции информации через вертолет на наземный командный пункт.

Особенно незаменимо телевидение в опасных технологических процессах и при подводных работах. Применение подводного телевидения вызвано необходимостью преодолеть ограниченные возможности водолаза как по сроку пребывания под водой, так и по глубине погружения, которая не превосходит 50 *м*. В настоящее время оно широко используется для отыскания затонувших судов и исследования их повреждений, при исследовании подводных сооружений и рельефа дна, при гидробиологических и океанографических исследованиях. Созданы подводные телепередающие камеры, монтируемые в алюминиевой сфере диаметром ∼50 *см* и могущие работать при погружении до 800 *м*. Приемное устройство и все управление подводной камерой располагаются на судне.

В некоторых опасных технологических процессах, например на атомных станциях, применяется дистанционное манипулирование. Для обслуживания такого устройства применяется стереоскопическая телевизионная установка, позволяющая судить о расстояниях между «руками» манипулятора и объектом. Установка состоит из двух передающих камер, расположенных надлежащим образом, и двух приемников, изображения которых совмещаются при помощи специальной оптической системы и рассматриваются при помощи специальных очков.

РАДИОЛОКАЦИЯ И РАДИОНАВИГАЦИЯ

Современные радиолокационные установки работают на дециметровых, сантиметровых и даже миллиметровых волнах. Многие типы радиолокаторов — это сложные установ-

ки, содержащие большое число радиоламп и точных механизмов.

Определение координат при помощи современных радиолокаторов осуществляется с весьма высокой точностью. Так, например, расстояние до цели может определяться наиболее совершенными радиолокаторами с относительной ошибкой менее 10^{-4}, что недоступно даже самым лучшим оптическим дальномерам. Преимущество радиолокационного метода измерения расстояний объясняется тем, что это измерение сводится к измерению промежутков времени, которые мы умеем измерять точнее, чем какую-либо другую физическую величину.

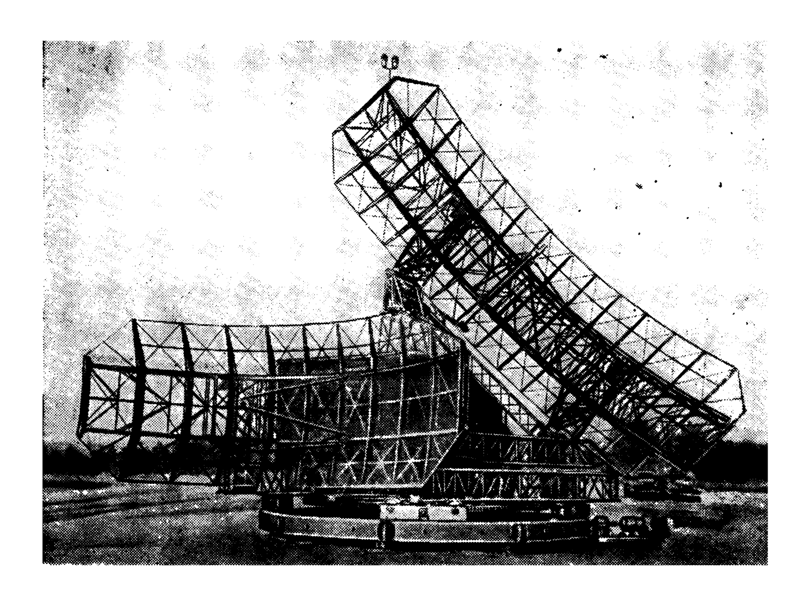


Рис. 13. Радиолокационная станция десятисантиметрового диапазона для дальнего обнаружения воздушных целей.

Точность измерения угловых координат при помощи радиолокатора в общем случае ниже, чем при помощи оптических приборов. Однако многие типы современных радиолокаторов позволяют измерять угловые координаты с ошибкой менее 2—4 угловых минут. Помимо того, радиопеленгационные устройства специального назначения, в частности для радиоастрономических наблюдений, позволяют изме-

рять угловые координаты с ошибкой в несколько угловых секунд. Это уже — точность оптических приборов.

Весьма велика и разрешающая способность современных радиолокаторов, достигающая в радиолокаторах миллиметрового диапазона, в особенности с применением импульсов длительностью порядка сотых долей микросекунды, нескольких метров. Это позволяет различать на экране индикатора радиолокатора улицы и площади городов, контуры крупных кораблей, очертания больших самолетов на аэродромах и отдельных автомашин на шоссе.

Велика также и дальность действия современных наиболее мощных радиолокаторов, достигающая многих сотен километров и более. Для повышения дальности действия, ограниченной выпуклостью Земли, радиолокаторы дальнего обнаружения могут устанавливаться на патрулирующих дирижаблях и вертолетах.

Некоторые типы радиолокаторов позволяют осуществлять автоматическое слежение за движущейся целью, например самолетом; при перемещении самолета антенна радиолокатора автоматически сама поворачивается на цель, непрерывно вырабатывая текущие координаты этой цели.

Используя явление Допплера, заключающееся в том, что частота сигнала, отраженного от движущейся цели, отличается от частоты сигнала, отраженного от неподвижного объекта, в некоторых радиолокаторах осуществляется селекция подвижной цели на фоне отражений от облаков, местных предметов и искусственных помех.

При помощи современной радиолокационной аппаратуры можно осуществлять и автоматическое безаварийное плавание судов; автоматически работающий радиолокатор позволит судну обойти препятствие в открытом море — айсберг, встречный корабль и т. д. или обеспечит безаварийный проход в узком фарватере.

В настоящее время радиолокационная аппаратура широко применяется для управления движением самолетов в районе аэропорта, для «слепой» посадки самолета и даже для регулирования движения самолетов на земле.

Многочисленны и другие применения радиолокации на транспорте, например в качестве измерителей скорости движения автомашин на автострадах. При современном развитии радиолокационной техники возможно создание автомобильного радиолокатора, автоматически тормозящего автомашину при наличии встречного препятствия.

Особенно характерным в современной радиолокации является применение в радиолокаторах электронных вычислительных устройств, заменяющих визуальное индикаторное устройство и работу оператора-человека. В некоторых военных и гражданских применениях радиолокационной

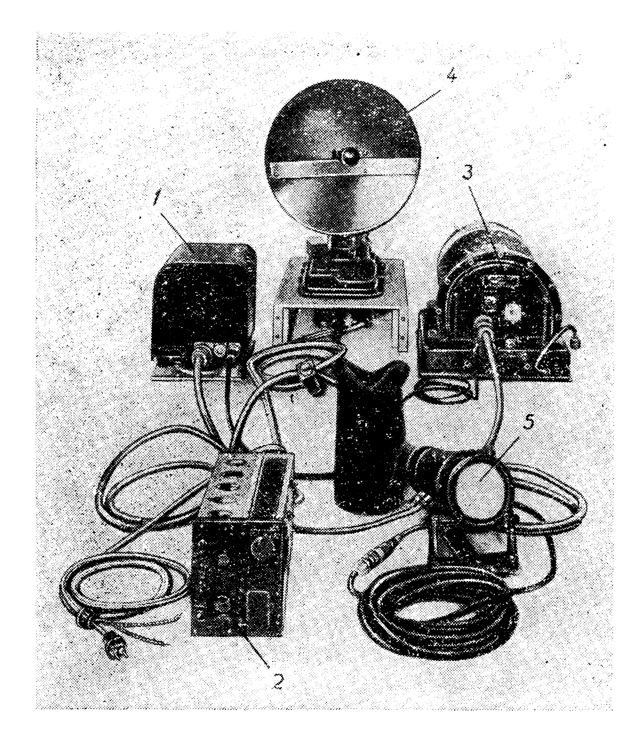


Рис. 14. Самолетный радиолокатор.
1 — блок питания; *2* — синхронизатор; *3* — приемо-передатчик; *4* — антенна; *5* — индикатор.

техники информация, вырабатываемая радиолокатором, настолько сложна и настолько быстро накапливается, что ее изучение и использование — выработка на основе ее соответствующих решений (команд и управляющих сигналов) — не могут быть выполнены человеком в практически необходимое время.

Радиолокатор с электронным вычислительным устройством позволяет осуществлять автоматические полеты по заданной трассе. Во время такого полета самолет автомати-

чески и наивыгоднейшим путем может обходить опасные препятствия в виде грозовых облаков, а в перспективе и встречные самолеты.

При помощи комплекса радиолокатор — электронное вычислительное устройство можно осуществлять: автоматическое наведение на объект своего самолета или управляемого снаряда, управление ракетами дальнего действия и космическими ракетами. Система наземных радиолокационных станций дальнего обнаружения и наведения определяет дальность, высоту, азимут и скорость цели. Эти данные преобразуются электронным вычислительным устройством в командные сигналы запуска и последующего управления наводимым истребителем или ракетой. После достаточного сближения последних с целью вступает в действие бортовая радиоэлектронная аппаратура, при помощи которой происходит самонаведение до необходимого сближения. Самонаведение осуществляется либо с использованием радиоизлучения, либо теплового излучения, либо инфракрасного и оптического излучения.

Радиоуправление баллистическими и космическими ракетами в основном сводится к выводу их на заранее предвычисленную траекторию полета. После вертикального запуска ракеты ее координаты, скорость и ускорение определяются радиолокационным или радиопеленгационным [1] способом и при помощи быстродействующего электронного вычислительного устройства преобразуются в командные сигналы управления, которые непрерывно передаются на ракету по командному каналу радиосвязи.

Следует подчеркнуть, что радиотелемеханическое управление, как таковое, зародилось вскоре же после изобретения беспроволочного телеграфа. Однако только развитие радиолокации, позволяющей «видеть»—наблюдать—управляемый объект на расстояниях, превосходящих возможности человеческого зрения, сделало радиотелеуправление движущимися объектами практически используемым.

Можно утверждать, что уже недалеко то время, когда радиолокация и радиотелеуправление позволят осуществлять полеты космических ракет с электронной автоматической аппаратурой на борту, обеспечивающей человеку на Земле полную возможность изучения явлений в мировом пространстве. Можно также считать, что в связи с этим

[1] При радиопеленгации координаты движущегося объекта определяются путем направленного радиоприема в наземных пунктах сигналов, излучаемых объектом.

решение проблемы существования человека в мировом пространстве становится ненужным, по крайней мере для целей исследования космоса. Уместно напомнить, что развитие телевизионной техники сделало ненужной разработку водолазного костюма для больших глубин.

Касаясь радиотелеуправления космическими ракетами, следует особо отметить важность создания долговременно и надежно действующей радиоэлектронной аппаратуры в связи со значительной продолжительностью полетов, которая во многих случаях будет превышать десятки лет. Совершенно очевидно, что создание такой аппаратуры требует замены вакуумных электронных приборов полупроводниковыми или другими еще более совершенными.

Способность укв проходить через верхние ионизированные слои земной атмосферы позволяет при современных успехах радиоэлектроники легко осуществлять радиоуправление далекими космическими ракетами и принимать на Земле сигналы радиопередатчиков, устанавливаемых на таких ракетах. Радиосвязь с искусственными телами в мировом пространстве на укв на дистанциях в десятки тысяч и даже сотни тысяч километров требует мощности радиопередатчика всего лишь 10—100 *вт*. Как известно, радиосвязь вокруг Земли на коротких волнах, осуществляемая благодаря многократным отражениям от ионосферы, требует радиопередатчиков с мощностью порядка 100 *квт*. Для радиосвязи и радиотелеуправления космическими ракетами в пределах Солнечной системы на Земле потребуются, разумеется, весьма мощные радиопередатчики — порядка 1 000 *квт* — и весьма чувствительные приемники — порядка 10^{-16} *вт*, которые, однако, при современном развитии радиоэлектроники вполне осуществимы.

Наземные станции радиотелеуправления и контроля за космическими ракетами должны располагаться в нескольких пунктах, отстоящих друг от друга на таких расстояниях, которые обеспечивают непрерывно прямое «видение» ракеты; при высоте полета, например, 300 *км* это расстояние равно около 4 000 *км*. Все пункты радиоуправления и наблюдения должны быть связаны со своим центром при помощи радиолиний, обеспечивающих передачу широкополосных сигналов. Центральный пункт должен иметь электронное быстродействующее вычислительное оборудование, которое на основе получаемой информации автоматически вырабатывает необходимые команды управления, передаваемые на ракету.

В настоящее время трудами советских ученых, инженеров и рабочих был осуществлен запуск первых спутников Земли. Создание искусственных спутников стало возможным благодаря успехам в развитии не только реактивной техники, но и радиоэлектроники.

Говоря о радионавигации, надо прежде всего подчеркнуть, что вождение современных самолетов без радио невозможно. Навигационная аппаратура для самолетов в настоящее время достигла большого совершенства. При помощи специального приемника пилот может точно определять свое местоположение и водить самолеты, не нуждаясь в каких-либо наземных визуальных ориентирах. При помощи радиомаяков, посылающих сигналы через антенны с направленным излучением, в пространстве создаются невидимые дорожки, по которым самолет может найти свой аэродром и совершить слепую посадку.

На основе принципов и техники радиолокации в современной радионавигации широко используется дальномерная система, обладающая по сравнению с угломерной значительно большей точностью и дальностью.

В «импульсной круговой системе» местоположение корабля или самолета определяется посредством измерения расстояний до двух наземных радиоответчиков. Последние состоят из приемника и передатчика. Приемник принимает импульсные радиосигналы — запросы — самолетного или корабельного радиопередатчика и автоматически запускает свой передатчик. При работе на ультракоротких волнах дальность действия достигает 500 *км*; ошибка в определении местоположения — около 20 *м*.

В «импульсной гиперболической системе» местоположение определяется по разности расстояния до двух из трех наземных передающих станций, излучающих синхронизированные импульсы высокочастотных колебаний, принимаемые на корабле или самолете. При работе длинными и короткими волнами дальность действия достигает нескольких тысяч километров, а ошибка — около 20 *км* и меньше.

Следует отметить, что в настоящее время существует и разрабатывается вновь много различных радионавигационных систем, сочетающих как дальномерные методы с угломерными, так и различные виды модуляции сигналов. Это обстоятельство вызывается все возрастающими требованиями к точности определения координат, надежности действия, универсальности и упрощения радионавигационной аппаратуры. Так, например, измерение фазы несущей частоты

в импульсной гиперболической системе позволяет повысить точность определения координат, уменьшая ошибку до величины менее 100 *м*. В другой системе, обладающей меньшей точностью, вес самолетной аппаратуры не превышает 4—5 *кг*, что делает ее пригодной для использования на маломестных самолетах. В результате стремления упростить радионавигационную систему, сделать ее, в частности, для самолетовождения автономной, т. е. без наземных станций, в настоящее время создается система с использованием допплеровского эффекта смещения частоты. Эта система состоит из самолетного радиолокатора, излучающего радиоволны по трем направлениям к земле. Сравнивая частоту отраженных сигналов с частотой излучения, на самолете можно определить путевую скорость с точностью порядка $\pm 1\%$ и угол сноса с точностью $\pm 0{,}5^\circ$, а по этим данным определять местоположение самолета и кратчайший курс к месту назначения. Все эти расчеты могут производиться автоматически электронной аппаратурой, в результате чего летчик визуально наблюдает все навигационные данные на индикаторе управления самолетом.

Для радионавигации самолетов и кораблей могут использоваться искусственные спутники Земли. Радиосигналы трех таких спутников позволят определять местоположение на Земле сравнительно простыми радиосредствами, с большой точностью и при любой погоде.

РАДИОГЕОДЕЗИЯ И РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Методы точного измерения расстояний, разработанные в радиолокации, находят также применение в геодезии, ставя ее на новый, более высокий уровень развития.

При проведении геодезических и картографических работ радиолокационная аппаратура применяется для точного определения положения самолета, производящего аэрофотосъемку, или вывода его в нужный район.

Точное измерение расстояния между двумя триангуляционными пунктами производится путем установки в этих пунктах радиоответчиков. Сигналы запроса, излучаемые передатчиком радиолокатора, с самолета, летящего по трассе, проходящей между триангуляционными пунктами, принимаются приемником радиоответчика. Выходной сигнал этого приемника заставляет срабатывать передатчик ответчика, который излучает кодированные сигналы, принимае-

мые приемником радиолокатора на самолете. В результате этого происходит одновременное измерение двух расстояний от самолета до соответствующих наземных пунктов. Очевидно, что минимальная сумма этих расстояний и есть измеряемое расстояние между заданными триангуляционными пунктами. Разумеется, при этом надо учитывать высоту самолета, которая весьма точно измеряется специальным радиолокатором-радиовысотомером, установленным на самолете.

Измерение расстояний порядка 30—50 *км* между двумя точками земной поверхности может производиться сравнительно легкими переносного типа радиолокаторами, работающими на волне $\sim$10 *см* с непрерывным излучением при модуляции несколькими частотами от 9 до 10 *Мгц*. Измеряя сдвиг фаз модулирующих частот, можно определять расстояния с весьма высокой точностью (ошибка порядка $\pm$5 *см*).

Для измерения сравнительно коротких дистанций применяется светолокация, которая основана на том же принципе, что и радиолокация, но и с использованием диапазона оптических волн. Светолокационная аппаратура состоит из источника света с модулирующим устройством и индикатора, реагирующего на отраженный свет; в качестве отражателя, устанавливаемого на противоположном конце измеряемого участка, используются зеркальные отражательные уголки. При современных достижениях импульсной техники, позволяющих генерировать электрические импульсы длительностью меньше 0,01 *мкс*, светолокационная аппаратура дает возможность измерять расстояние с ошибкой менее дециметра.

Следует подчеркнуть, что применение радиолокации позволяет весьма убыстрять и удешевлять производство сложных геодезических съемок. Так, например, радиометодами можно в течение 4 лет произвести съемку более 1 млн. *км*^{2} малоисследованной площади. При обычной геодезической съемке на это потребуется несколько десятилетий.

Применение радиолокационных станций в метеорологии для наблюдения за радиозондами и шарами-пилотами позволяет определять их положение ночью, в тумане и при их полете за облаками, облегчая этим задачу регулярного исследования атмосферы.

В труднодоступных районах на суше и на воде работают автоматически действующие радиогидрометеорологические

станции. Аппаратура таких станций действует без какого-либо надзора в течение года и более, обладая дальностью действия до 2 000 *км* при весе 150 *кг*.

Для радиолокации дождевых облаков и туч используются радиолокационные станции сантиметрового диапазона волн, снабженные индикатором кругового обзора. Радиолокационное обнаружение туч основано на отражении радиоволн сантиметрового диапазона от капель воды.

Применение в этих станциях индикаторов кругового обзора позволяет наблюдать на экране индикатора за образованием и перемещением туч и грозовых фронтов на площади в несколько десятков тысяч квадратных километров. При помощи специальных индикаторов и вертикального качания радиолуча можно определять расположение грозовых облаков по высоте. Эти наблюдения позволяют составлять прогнозы о движении грозовых и дождевых туч и обнаруживать штормы с расстояния порядка 300 *км*.

Между радиолокационными станциями, несущими службу погоды и предупреждения о возникновении опасных метеоявлений, и Центральным бюро погоды устанавливается фототелеграфная радиосвязь. На фотографирование изображения на экране индикатора радиолокационной станции, проявление и передачу изображения в Центральное бюро погоды требуется не более 10—20 *мин*. Наличие такой системы позволяет предупреждать о приближении ураганов за несколько часов до их наступления, благодаря чему резко сокращается материальный ущерб от ураганных разрушений, достигающий, например, на побережье Атлантического океана ежегодно миллиарда долларов. Применение специального радиолокатора на самолете для обнаружения опасных гидрометеоров резко повышает эффективность и экономичность воздушных сообщений.

Мощные наземные радиолокационные станции могут облегчать управление крупными операциями по созданию искусственного дождя. Они могут служить не только для контроля образования облаков на заданной площади, но и для изучения последующего развития облаков после их обработки и наблюдения за распределением выпавших осадков на большой площади.

Благодаря применению радиолокационной аппаратуры метеорологи получают теперь так много данных, что они не могут их своевременно обрабатывать. Выход из этого затруднения лежит в использовании электронных вычислительных машин, способных в короткий срок обрабатывать

все сведения, поступающие от метеорологических станций.

Заканчивая раздел о радиолокации, упомянем о так называемой «пассивной» радиолокации, по физическому принципу схожей с теплопеленгацией. Как известно, всякое тело в общем случае излучает весьма широкий спектр частот электромагнитных колебаний. В настоящее время уже разработано много весьма совершенных приборов, чувствительных к инфракрасным и тепловым лучам, т. е. электромагнитным волнам длиной от десятков до сотен микрон. При помощи электронных схем воспринимаемое излучение от нагретого тела преобразуется в видимое изображение. Есть такие тепловые приборы (ТП), которые позволяют «видеть» очертания человека на расстоянии до 200 *м*, а здания — на расстоянии свыше километра в полной темноте.

При сравнительно низких температурах тела (менее 20—30° С) в спектре его излучения заметную величину составляет радиоизлучение, в частности, излучение на волнах сантиметрового и миллиметрового диапазона. Так как радиолокационный приемник этого диапазона может быть сделан более чувствительным, чем детектор инфракрасных и тепловых лучей, и так как радиоволны меньше поглощаются в атмосфере, то, оказывается, во многих случаях можно обнаруживать объекты радиолокатором без собственного передатчика, т. е. радиопеленгатором лучше, чем теплопеленгатором. Так, например, радиопеленгатор диапазона 0,8—3 *см* может обнаруживать объекты при кажущейся разности их температур в 2—3° К. Это дает возможность «видеть» путь кораблей, так как в их кильватере вода более теплая, чем окружающая, или с высоты 2 000 *м* при густом тумане «видеть» береговую линию. Разумеется, разрешающая способность радиопеленгатора значительно ниже, чем теплопеленгатора, а дальность его действия меньше дальности радиолокатора с собственным передатчиком. Тем не менее можно полагать, что этот вновь зарождающийся метод радиообнаружения найдет широкое практическое применение.

Следует иметь в виду, что термином «пассивная» радиолокация в современной литературе иногда называется также система радиолокационного запросчика и ответчика, упоминавшаяся нами, в частности, в разделе о радиогеодезии, и система радиолокационной разведки, состоящая из приемника для обнаружения работающего радиолокатора.

РАДИОАСТРОНОМИЯ И РАДИОСПЕКТРОСКОПИЯ

Все тела Вселенной излучают электромагнитные колебания широкого диапазона, а в том числе и радиоволны. Так как ультракороткие волны проникают через ионосферу и практически не поглощаются в нижних слоях атмосферы и в облаках, то, используя ультракоротковолновый приемник с направленной антенной, можно принимать радиоизлучение

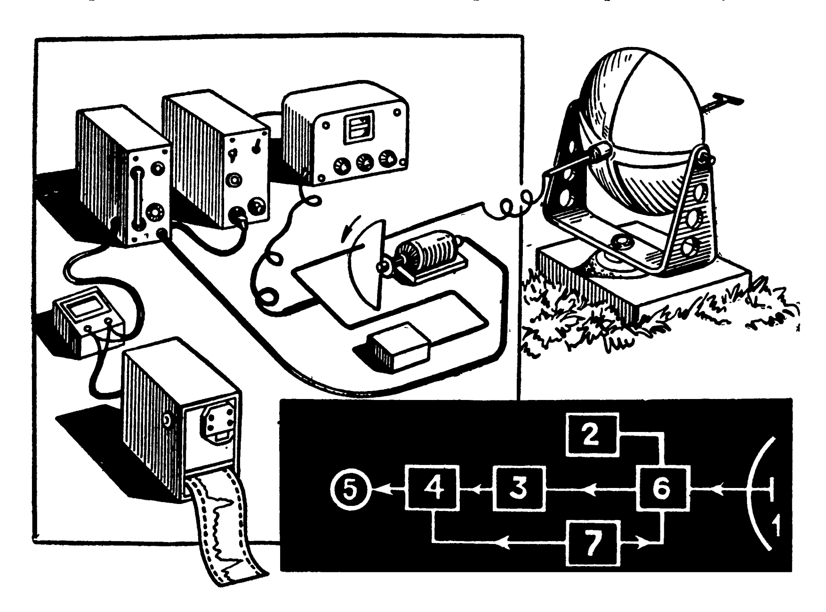


Рис. 15. Схема радиометра—радиоастрономического приемника.
1 — антенна; *2* — эквивалент антенны; *3* — усилитель высокой частоты; *4*—узкополосный усилитель низкой частоты; *5* — самопишущий регистрирующий прибор; *6* — модулятор; *7* — генератор низкой частоты.

небесных тел. В этом заключается принцип радиоастрономии — новой области научных исследований. Наблюдение радиоизлучения небесных тел позволяет получить много новых данных, значительно расширяющих наши знания о строении Вселенной, которые не могут быть получены при помощи оптических приборов.

Ввиду малой плотности потока мощности радиоизлучения небесных тел на Земле ($\sim 10^{-18}$ *вт*) приходится применять антенны больших размеров (100 $м^2$ и более). Но даже и при этом мощность на входе приемника оказывается

много ниже уровня собственных шумов современного высокочувствительного приемника, обычно рассчитанного на прием кратковременных сигналов. Методом же радиометра, пригодного лишь для приема длительных сигналов, удается регистрировать и измерять слабое радиоизлучение небесных тел.

Уже построены и строятся мощные радиотелескопы, представляющие собой большие параболические зеркала-антенны диаметром в несколько десятков метров или систему из нескольких разнесенных антенн.

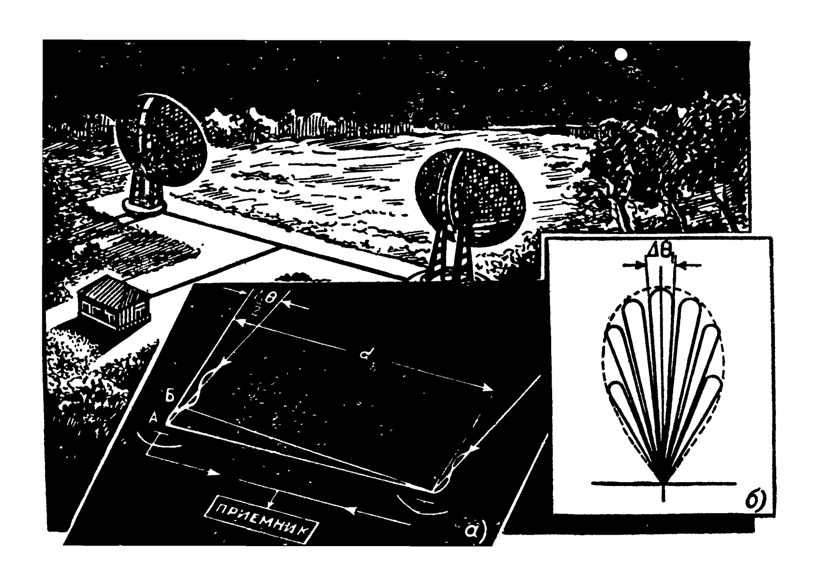


Рис. 16. Радиотелескоп интерференционного типа.

а — схема интерферометра; *б* — диаграмма направленности (пунктиром показана диаграмма направленности антенн, образующих радиоинтерферометр).

Несмотря на свою молодость, радиоастрономия уже имеет много научных и практических достижений. Так, обнаружены радиоизлучение Луны на волне 12 *мм* и Марса на волне 30 *мм*, которые позволяют судить о природе и температуре верхнего слоя поверхности этих планет.

Обнаружены мощные радиосигналы, излучаемые несколькими источниками на Юпитере в диапазоне 18—20 *Мгц* с длительностью от долей секунды до нескольких секунд. Энергия при излучении этих сигналов в $\sim$ 100 000 раз

больше энергии сильного грозового разряда в атмосфере Земли.

Открыто радиоизлучение Галактики и Метагалактики, причем обнаружено много отдельных источников излучения («радиотуманностей»), не обладающих видимым излучением.

Обнаружено также радиоизлучение на волне около 21 *см*, источником которого является межзвездный газ — сильно разреженный водород. Ранее астрономы не могли непосредственно наблюдать межзвездные скопления водорода, а теперь получают ценные сведения об его температуре и движении, о межзвездных магнитных полях и т. п.

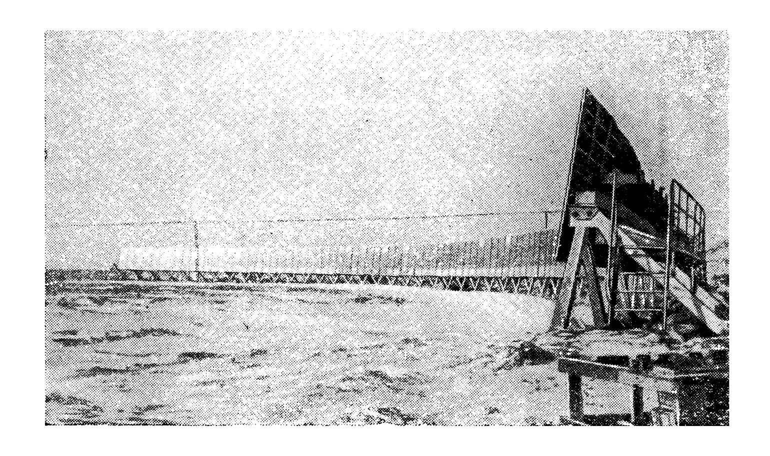


Рис. 17. Радиотелескоп Пулковской обсерватории: комбинированное зеркало.

Методом радиолокации в любое время суток и при любой погоде обнаруживаются следы метеоров в виде ионизированного газа. Этим путем исследуются самые высокие слои атмосферы.

Регулярные наблюдения радиоизлучения внешней короны Солнца (верхних, весьма разреженных слоев солнечной атмосферы) дают важные сведения о процессах, происходящих на Солнце. Оптические же наблюдения внешней короны возможны только во время полных солнечных затмений, т. е. примерно 1—2 раза в столетие. Исследование радиоизлучения Солнца имеет большое практическое значение для прогнозирования возмущений в земной ионосфере

и, следовательно, для радиопрогнозов коротковолновой связи.

Возможность радиоастрономических наблюдений позволяет создавать навигационные приборы — радиосекстанты, т. е. приборы для определения положения корабля или самолета по радионаблюдениям за излучением небесных тел (Солнца, Луны). При этом обеспечивается возможность определения местоположения в любую погоду, а не только

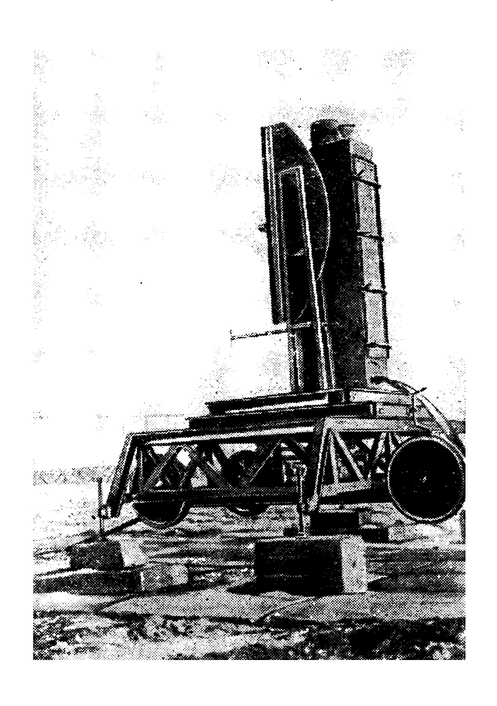


Рис. 18. Облучатель Пулковского радиотелескопа.

в ясную, как оптическим секстантом. Следует отметить, что оптические наблюдения обычно бывают возможны в течение не более 15% времени, а в северных широтах еще меньше, в особенности на море.

Радиоизлучение небесного тела используется также в качестве точечного излучателя при регулировке и исследовании антенн с весьма узкой диаграммой направленности. Как известно, чтобы получить неискаженные результаты такого

исследования, источник излучения должен быть вынесен на большое расстояние в свободное пространство.

Радиоэлектроника находит также широкое применение и в оптической астрономии, совершенствуя и расширяя ее технические возможности. Помимо фотоэлементов, применяемых в телескопах, в настоящее время для повышения чувствительности астрономических наблюдений используются накопительные свойства телевизионной трубки. Таким способом удается получать фотографии солнечного диска в ультрафиолетовом и инфракрасном освещении. Не менее успешные результаты дало применение телевизионной техники с рефрактором для наблюдения Луны, Юпитера и Сатурна. Таким способом были получены большие и четкие изображения облачных колец на Юпитере и малых кратеров на Луне.

Исключительно большое значение для усовершенствования астрономических наблюдений имеют вновь разрабатываемые электронные усилители света. Они позволят в сотни раз сократить экспозиции при фотографировании с телескопом, что равносильно увеличению дальности наблюдаемых объектов. С применением фотоэлектрического умножителя и люминесцентного экрана дальность действия оптического телескопа может быть увеличена в несколько раз. Электронный усилитель света в принципе состоит из слоя электролюминесцентного фосфора и слоя фотопроводника, находящихся между прозрачными проводящими пленками. К последним прикладывается электрическое напряжение питания. При падении слабого светового потока на фотопроводник его сопротивление сильно уменьшается, вследствие чего все приложенное напряжение воздействует на люминофор, заставляя его при этом излучать сильный световой поток.

Другой новой наукой, возникшей в результате развития техники ультракоротких волн, является радиоспектроскопия, которая в отличие от радиоастрономии, изучающей макромир, занимается изучением микромира.

Физические процессы, изучаемые радиоспектроскопией, заключаются в избирательном поглощении различными веществами определенных радиоволн ультракоротковолнового диапазона. Избирательное поглощение энергии данным веществом на одной определенной волне, точнее на очень узкой полосе частот, происходит из-за резонанса, т. е. при совпадении частоты электромагнитных колебаний с частотой собственных колебаний молекул исследуемого вещества.

Так, например, поглощение электромагнитной энергии водяными парами происходит на волне около 12,5 *мм*, кислородом — на волне 5 *мм* и т. д. Наблюдая такое поглощение, можно определить состав данного вещества. Однако радиоспектроскопия не только расширяет возможности спектрального анализа, использующего волны оптического диапазона, но и позволяет изучить детальное строение молекул. Благодаря применению радиоэлектронных схем, дающих возможность осуществлять генерирование и усиление монохроматических электрических колебаний, радиоспектроскопия по

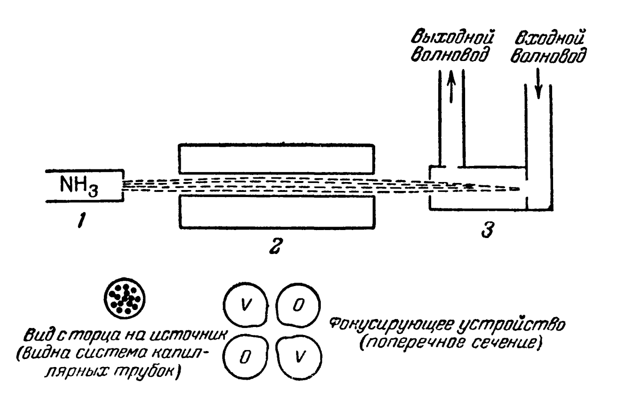


Рис. 19. Схема молекулярного лучевого генератора.
1 — источник молекулярного потока; *2* — фокусирующее устройство; *3* — объемный резонатор.

точности измерений и разрешающей способности значительно превосходит оптическую спектроскопию, использующую оптические и инфракрасные лучи.

Радиоспектрометр состоит из генератора ультракоротких волн, в резонатор которого вносится весьма небольшое количество исследуемого вещества. Благодаря применению специальной электронной схемы частота генерируемых колебаний периодически меняется, проходя определенный диапазон радиоволн. Измеряя при этом степень поглощения энергии, определяют длину волны, иначе — спектральную линию, при которой это поглощение достигает наибольшей величины.

Практическое значение радиоспектроскопии, помимо анализа и других применений, заключается также в том,

что она позволяет выбрать для радиосвязи и радиолокаций наиболее выгодные волны, не поглощаемые земной или космической атмосферой.

Избирательное поглощение радиоволн молекулами различных веществ используется также для стабилизации частоты генераторов миллиметровых и сантиметровых волн. Принцип устройства и работы такого генератора заключается в следующем: генератор заданной частоты слабо связывается с нагрузкой в виде резонатора, заполненного веществом, избирательное поглощение которого происходит на заданной частоте или на ее гармонике. Поглощение энергии воздействует на устройство, регулирующее частоту генератора, и автоматически подстраивает генератор при изменении его частоты, вызванном какими-либо причинами, на частоту избирательного поглощения. Так как при определенном давлении и температуре частота избирательного поглощения весьма постоянна, то описанным способом удается поддерживать частоту генератора ультракоротких волн с весьма высокой точностью порядка 10^{-11}.

Изучение строения молекул методом радиоспектроскопии позволило создать новый метод генерирования и усиления электрических колебаний ультравысокой частоты — молекулярный генератор-усилитель. Выше уже упоминалось о твердом молекулярном генераторе-усилителе. В газовом молекулярном генераторе миллиметрового и сантиметрового диапазонов луч из молекул аммиака пропускается в вакууме через сильное электрическое фокусирующее поле; при этом происходит отделение молекул, обладающих более высоким энергетическим уровнем, и введение их в объемный электрический резонатор, в котором они возбуждают колебания на резонансной частоте. Большое практическое значение такого генератора заключается в том, что он, обладая весьма высокой стабильностью частоты — порядка 10^{-12}, может применяться в качестве эталона частоты, а следовательно, в качестве прибора для измерения отрезков времени с исключительно высокой точностью.

Построенные на этом принципе молекулярные часы являются в настоящее время самым точным прибором для измерения времени. Они позволяют измерять время с точностью лучше чем 10^{-11}, что соответствует отклонению на 1 *сек* более чем за 3 000 лет. Часы, эталонируемые периодом вращения Земли, который, как известно, не является абсолютно постоянным, дают ошибку, в несколько тысяч раз бо́льшую.

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА В АТОМНОЙ ТЕХНИКЕ И В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Радиоэлектронная аппаратура совершенно необходима в различных применениях атомной физики и техники. В настоящее время очень широко используется для различных анализов метод «меченых» атомов, при котором в исследуемые вещества вводят радиоактивные изотопы. Регистрация излучения последних осуществляется электронными схемами, выполняющими амплитудный и частотный анализ электрических импульсов, возникающих в них при радиоактивном излучении.

Ускорители заряженных частиц представляют собой мощное радиоэлектронное оборудование. В них энергия высокочастотного электромагнитного поля переходит в энергию движущихся зарядов, т. е. происходит процесс, обратный по сравнению с процессом в электронном генераторе высокой частоты, в котором энергия постоянного тока переходит в энергию переменного тока. В качестве примера можно указать на отечественный ускоритель типа синхрофазотрона. Энергия, которую приобретает заряженная частица в этом ускорителе, равна 10 млрд. *эв*. Мощный ламповый генератор высокой частоты создает в вакуумной камере синхрофазотрона ускоряющее электрическое поле; частицы под действием сильного магнитного поля движутся в вакуумной камере по кругу, ускоряясь электрическим полем при каждом обороте. В результате многократного ускорения частицы приобретают громадную скорость, достаточную для разрушения атомного ядра при столкновении с ним в конце процесса ускорения. Размеры этого ускорителя весьма велики: так, например, диаметр магнита достигает 60 *м*, а мощность, расходуемая на питание всего оборудования 150 000 *ква*. В настоящее время у нас в СССР ведется разработка еще большего ускорителя — на 50 млрд. *эв*. Длина кольцевой орбиты ускоряемых частиц в этом синхрофазотроне будет около 1,5 *км*.

Начаты разработки методов превращения ядерной реакции непосредственно в энергию переменного тока. Выделяемые атомным реактором электроны и протоны при помощи электромагнитов могут группироваться в потоки частиц, направление которых периодически меняется, вследствие чего в электрической цепи индуктируется переменный ток.

Трудно переоценить научное и практическое значение для ближайшего будущего человечества осуществления проблемы управляемой термоядерной реакции. Ее решение

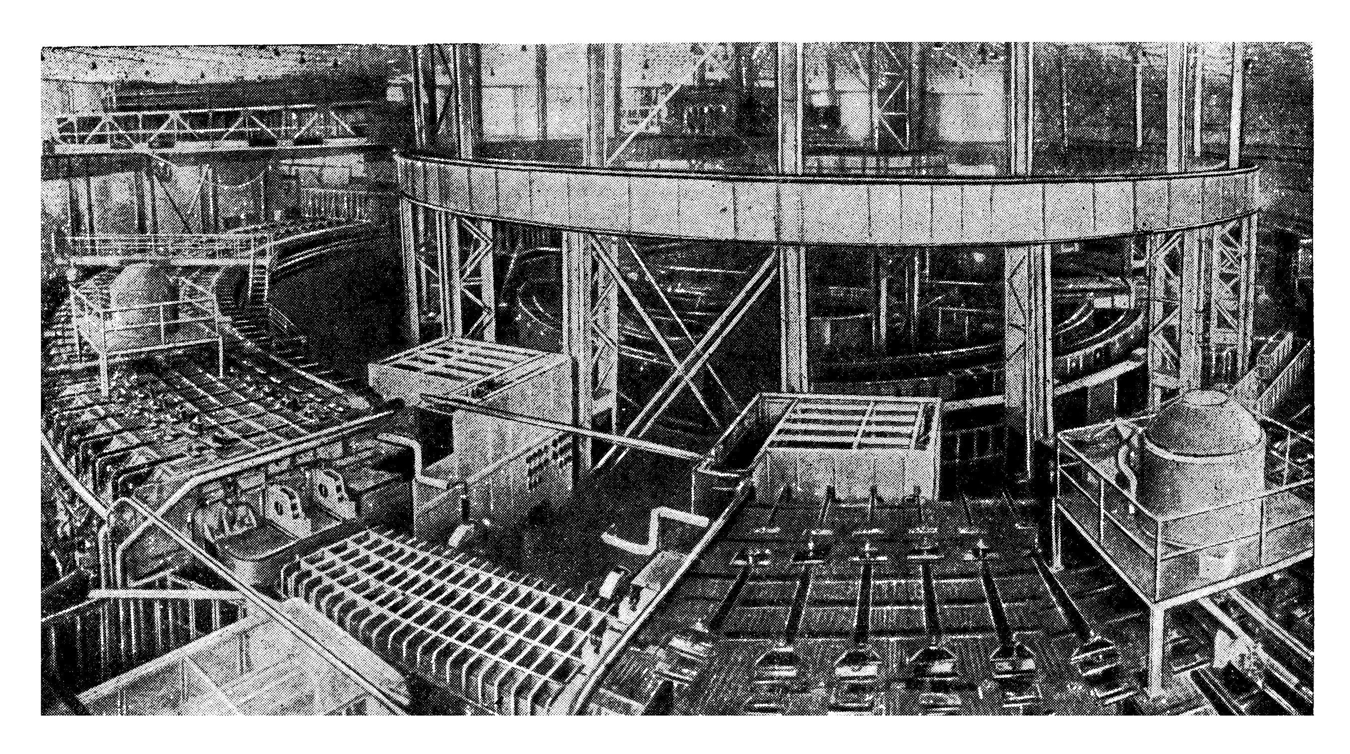


Рис. 20. Синхрофазотрон на 10 млрд. электроновольт.

дало бы практически неисчерпаемый источник энергии, могущей неузнаваемо преобразовать жизнь на Земле, предоставив возможность использовать все многообразие природы в интересах человечества. В противоположность управляемой ядерной реакции, осуществляемой в атомных реакторах с использованием химической технологии и механики, управляемая термоядерная реакция может быть осуществлена с использованием электронной техники. Советскими учеными уже выполнены первые работы в этом направлении: для достижения огромных температур — порядка десятков и сотен миллионов градусов, необходимых для осуществления термоядерной реакции, применяется импульсный электрический разряд в газе огромной мощности при сильном магнитном поле, сжимающем разряд в тонкий шнур, чем обеспечивается его термоизоляция.

Применение электроники в атомной энергетике позволяет решать проблему создания космических ракет с дальностью полета за пределы нашей Солнечной системы. В настоящее время разрабатываются проекты ионных и фотонных ракет, основанных на использовании истечения ионов и фотонов. Так, например, проектируется ракета, движение которой будет осуществляться за счет реакции «струи» ионов со скоростью 200 *км/сек*. Как известно, в самых совершенных ракетах, использующих химическую реакцию энергии сгорания топлива, скорость газовой струи не превосходит 3 *км/сек*, в связи с чем для полета даже на такое «небольшое» расстояние, как на Луну, требуется многоступенчатая ракета и создание промежуточной космической станции. Ионная же ракета благодаря большой скорости истечения «струи» ионов может долететь до любой планеты Солнечной системы. В этой ракете тепло, создаваемое атомным реактором, будет преобразовываться в электрическую энергию для ионизации паров цезия. Образующиеся ионы под действием сильных электрических полей будут выходить с огромной скоростью через сопла ракеты.

Широкое распространение в промышленности получило применение токов высокой частоты для технологического нагрева. Так как с увеличением частоты переменного поля поглощение энергии диэлектриком возрастает, то применение ультравысокой частоты для целей нагрева оказывается весьма эффективным. При этом нет необходимости в непосредственном соприкосновении металлических пластин конденсатора с нагреваемым телом. Теплота развивается внутри нагреваемого объекта, а не подводится снаружи, как

при обычном нагреве, поэтому прогреть внутреннюю часть изделия из материала, плохо проводящего тепло, можно, лишь поместив такое тело в ультравысокочастотное поле конденсатора. В связи с этим бурно развилось применение токов высокой частоты для нагрева дерева, пластмасс и других материалов. Применение токов высокой частоты для сушки досок позволяет сократить этот процесс до нескольких десятков минут. Древесина прогрезается по всей толще и приобретает хорошие технологические свойства.

Индукционный высокочастотный нагрев применяется и для нагревания металлических тел, которые для этого помещаются в магнитное поле катушки, по которой течет переменный ток высокой частоты. В этом случае из-за наличия поверхностного эффекта индукционный нагрев металлических тел происходит лишь в наружных слоях и при быстром воздействии внутренние слои не успевают нагреться за счет теплопроводности. Это явление используется для осуществления поверхностной закалки. Весьма сложные стальные детали быстро и на точно заданную глубину могут быть закалены только при помощи индукционного нагрева током высокой частоты.

Для плавки специальных сплавов и сталей также применяется индукционный нагрев. Индукционные токи позволяют не только расплавить металл в вакууме, но и электродинамическими силами поддерживать его в «подвешенном» состоянии, при котором расплавленный металл может вовсе не касаться стенок тигля. Все это не только обеспечивает получение чистых сплавов, но и дает экономию топлива и резко улучшает условия труда.

В недалеком будущем применение индукционного нагрева на производстве коренным образом изменит облик термических и литейных цехов; старое понятие «горячий» цех с тяжелым физическим трудом в нем станет достоянием истории.

Высокочастотный способ нагрева нашел применение в медицине, где получил название коротковолновой и ультракоротковолновой терапии. Сейчас почти нет лечебных учреждений, где не было бы радиоэлектронного оборудования.

Особенностью высокочастотного нагрева диэлектрических тел является возможность сильного нагрева внутренней части тела при относительно слабом нагреве наружных слоев. Можно, например, сварить яйцо в куске льда. Такая избирательность нагрева объясняется тем, что на данной часто-

те диэлектрические потери во внутренней части тела больше, чем в наружных слоях. Селективный нагрев может быть полезным во многих случаях ультракоротковолновой терапии, а также в различных технологических производственных процессах. Однако он может принести и вред. В частности, при длительном или регулярном воздействии ультравысокочастотного поля (на волне порядка 10 *см*) может возникнуть катаракта глаз.

Трудно назвать такую область производства, где бы ни применялась автоматизация управления и контроля технологических процессов, основанная на преобразовании неэлектрических величин в электрические различными датчиками — емкостными, индуктивными, из омических сопротивлений, электрохимическими, фотоэлементами и с применением телевизионной техники.

Электронные тензометры с проволочными датчиками позволяют измерять напряжения в различных узлах крупных машин. Электронные схемы позволяют поддерживать автоматически заданную температуру печи с весьма высокой точностью, измерять ничтожно малые смещения и осуществлять массовый химический анализ в процессе непрерывного производства.

Генератор высокой частоты, в колебательный контур которого включена выносная катушка, расположенная над транспортером, служит для обнаружения металлических примесей. Для непрерывных измерений толщины ленты при прокате применяются электронные устройства, регистрирующие β- или γ- лучи радиоактивных изотопов, помещенных под измеряемой лентой. Для регулирования влажности бумаги в процессе производства применяются электронные влагомеры, основанные на изменении выходного напряжения высокочастотного генератора, возникающего при изменении емкости контура этого генератора. Для автоматического контроля прозрачности и цвета продукта применяются фотоэлектрические колориметры.

Электронные микроскопы с увеличением в сотни тысяч раз, электронные манометры, электронные тахометры, электронные потенциометры для титрования и исследования кислотности растворов находят все большее применение в различных отраслях промышленности. Электронные ультразвуковые приборы широко используются для дефектоскопии, пайки и т. д.

Исключительно велико оснащение радиоэлектронной аппаратурой полиграфического производства, кинофабрик

и т. д. Автоматические заводы по производству массовых изделий работают при помощи управляющей электронной аппаратуры. Начинает широко внедряться радиотелеуправление подъемными кранами и другими мощными механизмами.

Электронная аппаратура широко применяется в геологии для разведки ископаемых. Контроль за прохождением и отражением электромагнитных волн в почве, зависящем от электрических параметров составных частей ее на глубине, резко повышает эффективность и экономичность геологоразведки Ведутся опыты по применению быстрого высокочастотного нагрева для разрушения крупных глыб полезных пород.

ЭЛЕКТРОННАЯ АВТОМАТИКА И БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Современные требования, предъявляемые к облегчению умственного труда человека, и требования, выдвигаемые управлением сложными технологическими процессами и задачами военной техники, могут быть удовлетворены только лишь средствами электронной автоматики — автоматики высшего типа. Она отличается применением не только обратной связи, но и элементов запоминания (записи) как заданной программы, так и результатов, получающихся в процессе ее выполнения. Примером электронного автоматического устройства является электронная вычислительная (цифровая) машина, позволяющая выполнять сложные математические и логические операции с весьма большой скоростью, а также позволяющая осуществлять непрерывный контроль и управление сложным технологическим процессом с большим совершенством.

Электронная вычислительная машина состоит из электрической схемы, содержащей весьма большое число электронных приборов, доходящее в больших машинах до нескольких тысяч штук, и многие другие элементы импульсных схем. Для размещения большой электронной вычислительной машины требуется площадь в несколько сот квадратных метров. Разумеется, такая машина, потребляющая к тому же несколько десятков киловатт первичного питания, является громоздким сооружением и не может обслуживать массового широкого потребителя.

Дальнейшее усовершенствование электронных вычислительных машин и замена в них вакуумных электронных приборов твердыми электронными приборами увеличит надеж-

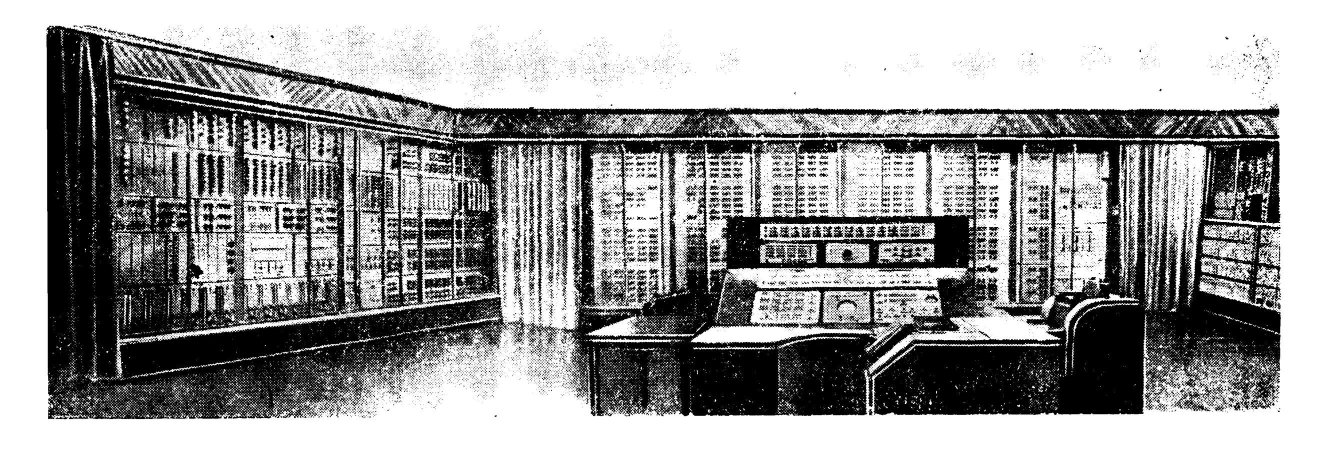


Рис. 21. Быстродействующая электронная машина „Стрела“, выполняющая 2 000 арифметических операций в 1 *сек.*; потребляемая мощность 90 *квт.*, 6 400 электронных ламп, занимаемая площадь 300 *м*², вес 33 *т.*

ность действия и уменьшит их громоздкость, благодаря чему они станут доступными для самого широкого применения.

Надо отметить, что габариты и потребляемая мощность резко снижаются у специализированных вычислительных машин. Так, например, электронная вычислительная машина, предназначенная для конструкторских и технологических расчетов в одной определенной области, может иметь размеры, не превосходящие размеров настольного телевизора. Другим примером малогабаритной вычислительной машины может служить самолетный вычислительный прибор на полупроводниковых триодах, предназначенный для специальных вычислительных операций навигации и управления вооружением; обладая весьма большой скоростью производства математических операций, он потребляет всего лишь 400 *вт* на питание.

Во многих областях науки и техники имеются вычислительные задачи, для решения которых требуются десятки лет непрерывного труда большого числа одновременно работающих людей-вычислителей. Электронная вычислительная машина, способная выполнять десятки тысяч арифметических действий в секунду, может решать такие задачи за несколько часов и с любой требуемой точностью. Ее обслуживает штат из небольшого числа людей, ведущих наблюдение и контроль. Если не считать легкого шума вспомогательного оборудования — вентиляции и т. п., то работа такой машины оказывается бесшумной в отличие от работы арифмометров и даже конторских счет.

Решение уравнений, описывающих пространственное движение управляемой ракеты, требует 2 лет непрерывного труда одного вычислителя, работающего на арифмометре. На электронной машине эта задача решается в течение 2 *ч* и с большей точностью. Электронная вычислительная машина позволяет в течение 1 *ч* вычислить по формулам, описывающим движение масс воздуха, прогноз погоды на сутки вперед. Для выполнения такой работы на клавишных счетных машинах требуется более 60 000 операторов-вычислителей.

Современные универсальные большие электронные цифровые машины могут выполнять от 2 000 до 14 000 арифметических операций в секунду. Однако в современной науке и технике существуют такие вычислительные задачи, на решение которых при скорости 10 000 операций в секунду требуется свыше 4 лет непрерывной работы. В связи с этим

в настоящее время разрабатываются электронные вычислительные машины, могущие выполнять до двух миллионов сложений или 500 000 умножений 12—15-значных чисел в секунду.

В принципе работа электронной цифровой машины подобна работе вычислителя на обычных конторских счетах, на которых арифметические операции осуществляются перебрасыванием костяшек. В электронной машине эти операции производятся при помощи отсчета электрических импульсов. Так как длительность электрических импульсов может быть очень малой (меньше одной миллионной доли секунды), то электронная машина, очевидно, может «отсчитать» миллион единиц в 1 *сек*.

Любое число, помимо широко принятой десятичной системы, состоящей из десяти цифр от 0 до 9, может быть записано также и при помощи двоичной системы, состоящей только из двух цифр 0 и 1. В основу электронной быстродействующей вычислительной машины положена двоичная система счисления, причем единица представляется единичным электрическим импульсом, нуль—отсутствием импульса.

Применение обычной десятичной системы в электронной машине потребовало бы практически совершенно неприемлемых усложнений; понадобилось бы, например, девять различных по величине импульсов; при малейшем нарушении режима питания не только бы снижалась точность вычислений, но и происходила полная путаница чисел. При двоичной системе нет подобной опасности, но имеется другой недостаток; такая система ручной записи является весьма громоздкой. Так, например, запись миллиардного числа в этой системе состоит более чем из 30 знаков в виде единиц и нулей, тогда как это же число в обычной десятичной системе имеет всего лишь 10 знаков в виде цифр от 9 до 0. Для того чтобы записать на бумаге миллиардное число по десятичной системе, требуется около 6 *сек*. На электронной машине, наоборот, легче и быстрее записать число по двоичной системе; при полумикросекундном импульсе машина запишет миллиардное число примерно за 30 *мксек*, т. е. в 200 000 раз быстрее ручной записи по десятичной системе.

Бо́льшая часть решений научных, инженерных, статистических задач сводится к решению уравнений, математически описывающих решаемую задачу. Решение уравнений не всегда возможно аналитическим путем, но в принципе всегда возможно их численное решение. Оно состоит из последовательного выполнения простых арифметических опе-

раций — сложения и умножения, вычитания и деления при заданных пределах аргумента. Однако этот метод практически осуществим только лишь при использовании электронной цифровой машины, способной выполнить огромное количество простых арифметических операций в приемлемое время.

Общая структурная схема электронной цифровой машины состоит из следующих основных частей: входного устройства, арифметического устройства, запоминающих устройств, управляющего устройства и выходного устройства. Во входном устройстве программа вычислений и исходные данные, первоначально записанные в виде число-

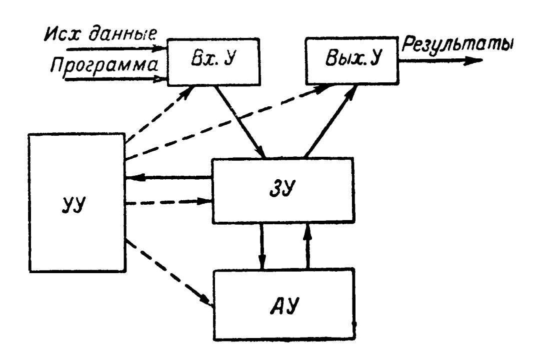


Рис. 22. Блок-схема электронной цифровой машины.

Сплошными линиями показаны цепи передачи чисел и программы, пунктирными — цепи управления. *Вх. У* — входное устройство для подачи начальных данных и программы вычислений; *Вых. У* — вывод окончательных результатов; *УУ* — управляющее устройство, ведающее работой машины в соответствии с введенной в нее программой; *ЗУ* — запоминающее устройство; *АУ* — арифметическое устройство.

вой таблицы, переписываются по двоичной системе на перфокарты, на которых единица того или иного разряда изображается отверстием, пробитым в соответствующем ряду, а нуль—отсутствием отверстия. Перевод числовой таблицы на систему отверстий в перфокартах может осуществляться автоматически при помощи электронного читающего автомата. Разрабатываемые в настоящее время такие автоматы способны считывать более 100 цифровых знаков (от 0 до 9) в секунду, обеспечивая более полную загрузку быстродействующей вычислительной электронной машины, производительность которой недостаточно используется при ручном приготовлении перфокарт. Принцип действия читающего автомата основан на разложении читаемого знака световым лучом на несколько элементов, в каждом из кото-

рых преобладает черный или белый цвет; в результате этого от каждой цифры при помощи фотоэлемента возникает группа электрических импульсов, которая при помощи специальной схемы преобразуется в один импульс на соответствующем выходном проводе устройства. Число выходных проводов равно числу распознаваемых цифр, т. е. 10.

При движении перфокарт пробитые на них отверстия при помощи электромеханических контактов или фотоэлементов вырабатывают электрические импульсы, которые поступают в запоминающие устройства. Далее импульсы, представляющие запись программы, передаются в управляющее устройство, которое командует арифметическим аппаратом. Последний под действием командных импульсов управляющего устройства выбирает из запоминающего устройства необходимые числа и производит с ними заданные операции. Результаты этих операций из арифметического устройства передаются на промежуточное хранение в запоминающее устройство. Окончательные результаты поступают в выходное устройство, в котором электрические импульсы пробивают отверстия на перфокартах. С этих перфокарт далее печатаются результаты всей вычислительной работы в виде таблиц с обычными числами.

Для повышения загрузки быстродействующей цифровой машины выходные данные печатаются и одновременно размножаются с большой скоростью при помощи электронной автоматической аппаратуры, в основе устройства которой используется электронно-лучевая трубка с буквенной индикацией. О применении такой трубки, носящей название «характрона», нами уже упоминалось на стр. 23, а принцип ее устройства изложен на стр. 58. Перевод букв и других знаков на бумагу производится методом ксерографической печати. Такое автоматическое устройство может работать со скоростью воспроизводства свыше двух тысяч букв в секунду.

Основными частями арифметического устройства являются электронные схемы сложения, вычитания и умножения. Основными элементами этих схем являются схемы основных логических операций: отрицание («не»), логическое умножение («и») и логическое сложение («или»). В частности, электронная схема, называемая схемой совпадения, осуществляет логическое умножение. Такая схема может быть, например, осуществлена при помощи нескольких электрических вентилей с общим анодным питанием; выходной сигнал в виде электрического импульса на анодах вентилей

появится только в том случае, если одновременно возникают положительные импульсы на катодах всех вентилей.

Принцип работы запоминающих устройств заключается в использовании либо заряда конденсатора, либо намагничивания железного сердечника. В первом случае используется специальная электронно-лучевая трубка, внутри которой находится металлическая пластинка, покрытая слоем диэлектрика. Когда на небольшой участок размером около 1 *мм*^{2} поверхности этого диэлектрика попадает электронный пучок, а на пластинку положительный импульс, то происходит электрический заряд этого участка, являющегося элементарным конденсатором. Этот заряд может быть снят путем подачи отрицательного импульса на пластинку. Запоминание электрических импульсов с использованием эффекта накопления электрического заряда может быть осуществлено и другим устройством, состоящим из большого числа миниатюрных конденсаторов размером в десятые доли миллиметра каждый и с диэлектриком из ферроэлектрика.

В магнитных запоминающих устройствах применяются либо миниатюрные кольцевые ферритовые сердечники, обладающие петлей гистерезиса и намагничивающиеся при прохождении импульса тока в проводах, на которые они нанизываются, либо ферритовые пластинки с отверстиями и проводниками, нанесенными на них методом печатных схем.

Неограниченный срок службы ферромагнитных сердечников, надежная их работа при значительных колебаниях температуры, прочность и небольшие размеры являются достоинствами ферритовых запоминающих устройств в электронных машинах.

Кроме того, для запоминания электрических импульсов используется запись на магнитную ленту, подобную той, что применяется в магнитофонах, а также используются специальные электронные схемы, в которых «запоминание» электрического импульса, представляющего единицу данного разряда, осуществляется прохождением анодного тока через триод или диод, соответствующие данному разряду.

В современных больших электронных вычислительных машинах внутренние запоминающие устройства, осуществляемые при помощи электронно-лучевых трубок или ферритовых сердечников, могут запоминать до нескольких тысяч чисел, записывая и выдавая любое из них в любой последовательности. Внешние запоминающие устройства с магнитной записью на ленту в больших машинах обла-

дают емкостью до нескольких миллионов чисел; однако здесь выборка чисел может осуществляться лишь в определенной последовательности.

Как уже отмечалось, электронные цифровые машины позволяют осуществлять автоматическое управление сложными процессами, например станками, электростанциями, полетом самолета, полетом ракеты и снаряда.

В автоматически управляемом фрезерном станке профиль обработки деталей задается числами в виде отверстий на перфоленте. Электронная вычислительная машина по этим числам вырабатывает команды в виде электрического напряжения, поступающего на электродвигатели сервомеханизмов, приводящих в движение режущий инструмент и деталь. В процессе управления станком электронное устройство выполняет большую вычислительную работу, сравнивая получающиеся размеры с заданными и вырабатывая на основе этого сравнения управляющие сигналы. Автоматическое управление фрезерным станком при помощи электронной вычислительной машины почти в 3 раза сокращает время обработки сложных деталей по сравнению со способом управления по копировальному устройству. Кроме того, замена копировального устройства перфолентой резко снижает продолжительность и стоимость подготовительных работ.

При применении электронной цифровой машины для автоматического управления полетом самолета машина осуществляет взлет, выравнивает самолет на заданной высоте, направляет его по заданному курсу, приводит к заданному пункту и управляет посадкой. Программа полета заранее рассчитывается и записывается на перфоленту. Электронное вычислительное устройство сравнивает данные о местонахождении самолета, получаемые от навигационных приборов, с программой полета и в соответствии с отклонениями корректирует полет, а при встрече с опасными грозовыми образованиями, сигналы о которых дает специальный радиолокатор, выбирает наивыгоднейший путь обхода их. Размеры такого электронного вычислительного устройства примерно равны размерам телевизора.

Современные требования, предъявляемые к работе радиолокационных станций, вызванные высокими скоростями самолетов и ракет, могут быть удовлетворены лишь путем замены оператора-человека электронным автоматически действующим устройством, которое, принимая радиолокационную информацию о воздушных целях, быстро ее обра-

батывает, находит оптимальные решения для контратаки и передает соответствующие командные сигналы для автоматического наведения своих истребителей или ракет на атакующие цели.

Примером применения электронных цифровых машин для автоматизации крупных военно-технических операций может быть американская полуавтоматическая радиолокационная система ПВО. Эта система охватывает несколько секторов, имеющих радиолокационные станции дальнего обнаружения и электронные вычислительные машины. Секторы связаны между собой специальными линиями для передачи данных.

Электронное вычислительное устройство состоит из 58 000 электронных ламп, потребляемая ими мощность достигает 1 000 *квт*. В запоминающем устройстве имеется 24 магнитных барабана, которые могут накапливать в общей сложности до 12 млн. сигналов (единиц информации). Все электронное устройство размещается в специальном здании, где поддерживается кондиционированный воздух. Весь комплекс электронного оборудования вырабатывает полную информацию о каждом обнаруженном самолете — его курс, скорость, время, необходимое для его перехвата истребителями с различных аэродромов, и координаты точки встречи с ним. Все эти данные воспроизводятся на экране перед командиром в виде цифр. Кроме того, электронное оборудование может вырабатывать данные для автоматического наведения истребителей на цели и опознавания своих самолетов, сравнивая поступающие данные о движении самолетов с данными о разрешенных полетах, хранящимися в блоке памяти электронной цифровой машины.

Электронно-лучевые трубки, воспроизводящие на экране сведения о цели в виде группы цифр, в отличие от обычных трубок имеют две отклоняющие системы и матрицу с отверстиями в виде букв, расположенную между прожектором и первой отклоняющей системой. Центр группы цифр на экране соответствует координатам самолета, а цифры указывают скорость, высоту, тип самолета и т. д. Выбор знаков матрицы производится сигналами электронной вычислительной машины, подаваемыми в первую отклоняющую систему.

Электронная цифровая машина может выполнять не только математические операции, но и решать логические задачи с большим объемом однообразной работы по опре-

деленным правилам. Действительно, электронная цифровая машина способна выполнять операции, из которых состоит процесс решения логической задачи, т. е. запоминать заданную информацию, сравнивать с нею получаемую информацию и давать ответ на основании этого сравнения. Благодаря этому, например, электронная машина может выполнять перевод текста с одного языка на другой, давая на выходе перевод в виде отпечатанного текста. В этом случае электронная машина заменяет человека, отыскивающего в словаре взаимное значение слов и комбинации из слов. Словарь, заложенный в запоминающее устройство электронной машины, состоит из чисел, которыми обозначаются слова и грамматические особенности языка. Отыскание нужного значения английского слова заключается в сравнении (путем вычитаний) числового обозначения его со всеми числами словаря. А так как машина может сделать, например, 10 тыс. вычитаний в 1 *сек*, то нахождение русского значения данного слова занимает в худшем случае 0,1 *сек*.

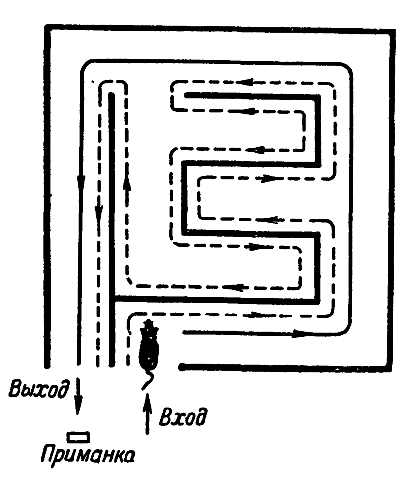


Рис. 23. „Мышь в лабиринте".

Вполне возможно создание электронных цифровых машин для автоматического перевода речи оратора одновременно на несколько других языков и радиопередача переводов на индивидуальные приемники многочисленных слушателей. В будущем возможно создание сравнительно небольшого устройства для индивидуального пользования иностранным языком без знания его. Мало того современное состояние радиоэлектроники позволяет поставить на очередь задачу создать электронный читающий автомат, воспроизводящий текст акустически на одном из заданных языков, а также автомат, который может записывать человеческую речь на пишущей машинке на другом, наперед заданном языке.

В связи с появлением электронной автоматики возникла наука — кибернетика, занимающаяся изучением закономер-

ностей самоуправляющихся процессов, включая и процессы саморегулирования в живых организмах. Применение электронных цифровых машин для игры в шашки или шахматы, создание самообучающихся машин и т. п. являются экспериментальными исследованиями кибернетики. Примером самообучающейся машины является электронный автомат — «мышь в лабиринте». В этом автомате магнит на тележке с приводом проходит первый раз путь от начала до конца лабиринта, ощупью, наталкиваясь на перегородки и в конце концов достигает «приманки» у выхода из лабиринта. Эти движения фиксируются запоминающим устройством машины, управляющей движением «мыши». При повторном прохождении лабиринта «мышь», как бы запомнив дорогу, проходит к цели кратчайшим путем.

Создание и исследование подобных электронных автоматов имеет исключительно большое значение для развития биологии и в том числе для изучения процессов высшей нервной деятельности, поскольку при помощи этих машин можно моделировать не только различные физиологические процессы, но и многие элементарные процессы мышления. Это позволяет не только полнее изучать живой организм и улучшать его жизнеспособность, но и создавать более совершенные автоматические устройства, пригодные для выполнения более сложных функций человеческого умственного труда. Это также означает, что современная радиоэлектроника отваживается дерзать в решении задач: как работает мозг и как сделать машину, заменяющую работу мозга.

Гидравлический насос, управляемый электронной вычислительной машиной, учитывающей состояние крови и другие физиологические реакции, может заменить сердце в живом организме во время сложной операции. Ультразвуковой локатор, выходные сигналы которого анализируются быстродействующей электронной вычислительной машиной, а после преобразования подаются в виде электрических импульсов в соответствующие чувствительные точки, может служить поводырем для слепого.

Моделирование слуха и зрения с помощью микрофона и фотоэлемента производится уже сравнительно давно, однако только недавно установлено глубокое сходство этих физических и физиологических процессов. Оказывается, что и в ухе, так же как и в микрофоне, механические колебания превращаются в электрические, возбуждающие

окончания слухового нерва. Если у живого организма этот нерв отрезать и к его окончанию подключить через усилитель громкоговорящий телефон, то последний будет воспроизводить звук, произносимый перед ухом. При этом важно подчеркнуть то обстоятельство, что описанный эксперимент осуществим лишь на живом организме. Установлено также, что при пропускании через внутреннее ухо человека переменного тока он слышит звук соответствующей частоты.

Таким образом, изучая биотоки, возникающие в живом организме в процессе деятельности его мозга, в принципе возможно анализировать и синтезировать не только физиологические процессы, но и процессы мышления. Если, например, будут найдены и расшифрованы электрические импульсы, возникающие в мозгу, как в процессе воспроизведения речи вслух, так и в процессе воспроизведения ее про себя, то, вероятно, станет возможным с помощью радиоэлектронной аппаратуры записывать мысли.

Вероятно таким же путем может решаться и важнейшая практическая задача — облегчения памяти и работы человеческого мозга в процессе его многообразной творческой деятельности.

Возможно создание быстродействующих научных, статистических, технических, медикодиагностических и других электронных справочников, которые позволяют резко увеличить производительность умственного труда. Это тем более необходимо в связи с тем, что объем человеческих знаний непрерывно растет и для воспринятия их, очевидно, необходимо прибегать к применению технических средств. Возможно также создание электронного устройства, автоматически выполняющего функции лектора, не только читающего лекцию, но и отвечающего на вопросы слушателей (электронный собеседник) и наводящего дисциплину в аудитории, если это становится необходимым. Точно так же при помощи электронных цифровых машин можно осуществлять автоматизацию процессов административно-хозяйственного управления, например, составление расписания занятий, движения поездов, судов, самолетов, банковские и бухгалтерские расчеты, составление ведомостей на зарплату, ведение расчетов с поставщиками и потребителями.

В принципе технически возможно даже создание такой электронной цифровой машины, которая по заданной ей человеком программе может изготовлять не только более простые устройства, чем она сама, но и более сложные.

В общем технически возможно создание электронной машины для выполнения любой сложной функции, которую она может выполнять лучше человека-конструктора, создавшего эту машину; но этой функцией все же и будет ограничена ее способность — таков неорганический «усилитель мышления».

Однако бесплодна и неосновательна идея создания неорганической машины, эквивалентной по «способностям» человеческому мозгу во всем его многообразии творческой деятельности и способности саморазвития в процессе этой деятельности. Если попытаться спроектировать даже из самых совершенных в перспективе электронных запоминающих систем вычислительную машину с таким же числом элементов памяти, каким обладает человеческий мозг, то получится конструкция, которая по своим огромным габаритам и огромному потреблению электроэнергии окажется технически неосуществимой.

Создание электронных логических машин по справедливости многими приравнивается к изобретению книгопечатания. И, вероятно, как современники изобретения книгопечатания вряд ли могли полностью оценить значение этого события для развития человечества, так, очевидно, и мы, современники изобретения электронной автоматики, не можем полностью определить всех перспектив и возможностей, которые создает радиоэлектроника для облегчения физического и умственного труда человека.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 1 р. 45 к.